



Joana Roque Pereira Silva

Licenciada em Ciências de Engenharia do Ambiente

**Avaliação da exposição a partículas
atmosféricas dos utilizadores das
ciclovias da cidade de Lisboa**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia
do Ambiente, Perfil de Engenharia de Sistemas Ambientais

Orientadora: Doutora Susana Marta Almeida,
Investigadora Auxiliar, Campus Tecnológico e Nuclear,
Instituto Superior Técnico

Coorientador: Professor Doutor Francisco Manuel
Freire Cardoso Ferreira, Professor Auxiliar, Faculdade de
Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Pedro Manuel da Hora Santos Coelho
Arguente: Prof.^a Doutora Susana Patrícia Costa Viegas
Vogal: Prof.^a Doutora Susana Marta Almeida



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro de 2014

Avaliação da exposição a partículas atmosféricas dos utilizadores das ciclovias da cidade de Lisboa

Copyright © Joana Roque Pereira Silva, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Never measure the height of a mountain, until you have reached the top.

Then you will see how low it was.

Dag Hammarskjöld (Nobel da Paz, 1961)

À minha avó

Agradecimentos

À minha mãe, a primeira a não me deixar desistir, pelo seu amor e apoio incondicionais e o acreditar neste curso e em mim. Ao estar sempre na primeira fila.

Ao meu pai, exemplo de trabalho e esforço, que me emprestou a sua bicicleta e ainda me acompanhou nas subidas difíceis.

Aos meus avós, pela sua dedicação, estima e amor. Os mais orgulhosos. E à família, pela rede segura que criaram à minha volta.

Ao Jorge, que sempre soube dizer as palavras certas no momento certo. Pelo seu carinho e ensinamentos.

Agradeço à Doutora Marta Almeida, por me ter dado a oportunidade de realizar esta tese, e integrar-me no Grupo no IST, pela sua disponibilidade, apoio e o saber passar a mensagem.

Ao Professor Francisco Ferreira, pelos conhecimentos transmitidos ao longo do curso, pelo gosto pela área que passou aos seus alunos.

Aos amigos, pilar essencial, aos seus telefonemas preocupados e o estarem sempre prontos a ajudar.

À Universidade Nova de Lisboa e ao IST pelos meios técnicos que permitiram realizar a parte prática deste trabalho. Aos colegas, a Carla e a Joana, a Catarina, e o Nuno, o meu agradecimento sincero pela sua ajuda. Um agradecimento especial ao Tiago, a pessoa indicada para puxar por mim nas voltas de bicicleta, e por todos os quilómetros que pedalou. À Isabel Dionísio, pela sua colaboração no trabalho de laboratório. Ao Bruno Mourato, pela sua preciosa ajuda com os problemas informáticos.

Ao proprietário do conjunto de Oliveiras, pela sua amabilidade e ajuda na recolha dos líquenes.

Ao Francisco.

Resumo

Esta tese de mestrado teve como objetivo avaliar a exposição a poluentes atmosféricos dos utilizadores das ciclovias da cidade de Lisboa, recorrendo a métodos instrumentais e biomonitores.

Os atuais custos e consequências de uma mobilidade assente no transporte rodoviário individual e no recurso a combustíveis fósseis, tem vindo a ser contrariado nalguns meios urbanos pelo recurso a meios alternativos não poluentes como a bicicleta, com eventuais vantagens para a saúde e para o ambiente. Os utilizadores deste tipo de modos suaves encontram-se, contudo, expostos a poluentes atmosféricos durante os percursos em bicicleta, em meio urbano, o que poderá constituir um risco para a saúde.

A monitorização da qualidade do ar nas ciclovias do concelho de Lisboa realizou-se através do uso de amostradores pessoais *AM510 SidePak Personal Aerosol Monitor*® que mediram as concentrações de partículas inaláveis PM_{10} e $PM_{2.5}$ ao longo de três percursos previamente delineados: percurso Ribeirinho, percurso Cidade e percurso Monsanto. Considerando as réplicas realizadas para cada percurso foram efetuadas medições em 60 trajetos. Os resultados obtidos ditaram que o percurso que registou os níveis de concentrações médias de partículas inaláveis mais elevados foi o percurso Ribeirinho.

Na biomonitorização recorreu-se a um tipo de organismo muito utilizado em estudos de poluição do ar: o líquene. Avaliou-se a vitalidade dos líquenes expostos durante três meses nas várias ciclovias da cidade. Esta característica foi analisada através da permeabilidade das membranas celulares dos líquenes (medida recorrendo à condutividade elétrica) que sofre alterações com o aumento da poluição do ar. Os níveis mais elevados registaram-se nas zonas com maior tráfego automóvel, confirmando uma degradação da qualidade do ar.

A identificação das fontes emissoras e o conhecimento dos níveis de poluição permite que se tomem medidas informadas para melhoria da qualidade do ar, podendo reduzir-se simultaneamente as emissões de CO_2 , contribuindo para a mitigação das alterações climáticas.

Palavras-chave: qualidade do ar; partículas; ciclovias; métodos instrumentais; biomonitores; Lisboa.

Abstract

The objective of this Master's thesis was to assess exposure to air pollutants users of bike paths in Lisbon city, using instrumental methods and biomonitors.

Considering the current costs and consequences of mobility based on individual road transport and the use of fossil fuels, has been thwarted in some urban areas by the use of non-polluting alternative means such as cycling, with potential benefits for health and the environment. Users of this type of soft modes are, however, exposed to air pollutants during the biking tours in urban areas, which could pose a health risk.

The monitoring of air quality in the bike paths in Lisbon took place through the use of *AM510 SidePak Personal Aerosol Particulate Monitor*® equipment that measured the concentrations of inhalable particles PM_{10} and $PM_{2.5}$ over three previously delineated routes: route Riverside, City route and route Monsanto. Considering the replicas made for each route measurements were taken at 60 routes. The results showed that the route that presented the highest values was the route Riverside.

In biomonitoring we resorted to a type of organism widely used in studies of air pollution: the lichen. We evaluated the vitality of lichens exposed for three months in the several bike paths in the city. This feature was analysed by the permeability of cell membranes of lichens (measured using the electrical conductivity) that endures changes with increasing air pollution. The highest levels were obtainable in areas with heavy traffic, confirming a degradation of air quality.

Identifying the sources and knowledge of pollution levels allows us to make informed measures for improvement of air quality, while reducing emissions of CO_2 and short-lived climate pollutants, thus contributing to mitigation of climate change.

Keywords: air quality; particles; bike paths; instrumental methods; biomonitors; Lisbon.

Índice de matérias

Agradecimentos	ix
Resumo	xi
Abstract	xiii
Índice de matérias	xv
Índice de figuras	xvii
Índice de tabelas	xxi
Lista de acrónimos e siglas	xxiii
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos e âmbito	2
1.3 Organização da dissertação	2
2 Estado da arte	5
2.1 Abordagem ao estado da arte	5
2.2 A poluição atmosférica e a qualidade do ar	5
2.3 Os poluentes atmosféricos	6
2.4 As partículas atmosféricas	6
2.4.1 Fontes de PM	7
2.4.2 Dispersão das partículas	8
2.4.3 Diversidade de meios de deposição de partículas	9
2.4.4 Impactes das PM na saúde	9
2.5 Legislação da QA	10
2.6 Monitorização da qualidade do ar	16
2.6.1 Rede de Monitorização da Qualidade do Ar	16
2.7 Biomonitorização	18
2.7.1 Métodos aplicáveis	19
2.8 O Líquene	20
2.8.1 Definição de líquene	20
2.8.2 O uso de líquenes nos estudos de poluição do ar	20
2.8.3 Sintomas de stress – resposta fisiológica	21
3 Caso de estudo: cidade de Lisboa	23
3.1 Caracterização da zona de estudo	23
3.2 Mobilidade Ciclável	23
3.3 Rede Municipal de Percursos e Corredores Pedonais e Cicláveis	24

3.4 Qualidade do ar em Lisboa	28
4 Metodologia	29
4.1 Processo metodológico.....	29
4.2 Analisadores pessoais.....	29
4.2.1 Percurso Ribeirinho.....	33
4.2.2 Percurso Cidade	35
4.2.3 Percurso Monsanto.....	37
4.3 Estações de Monitorização e Qualidade do Ar em Lisboa.....	39
4.4 Utilização de Líquenes como Biomonitorios	42
4.4.1 Avaliação da integridade da membrana da célula: Condutividade elétrica	44
5 Resultados e discussão	47
5.1 Avaliação da exposição a partículas com analisadores pessoais	47
5.1.1 Controlo de qualidade	47
5.1.2 EQA e analisadores pessoais.....	51
5.1.3 Exposição a partículas nos diferentes percursos	54
5.1.4 Mapeamento das concentrações de partículas	57
5.2 Utilização de Líquenes como biomonitorios	82
5.3 Métodos instrumentais <i>versus</i> Biomonitorios	85
6 Conclusões	87
6.1 Síntese	87
6.2 Cumprimento dos objetivos	89
6.3 Limitações.....	89
6.4 Desenvolvimentos futuros.....	89
7 Referências bibliográficas	91
Apêndices.....	i
A.1 Controlo de qualidade	i
A.2 Comparação das concentrações de PM entre <i>SidePak</i> e EQA.....	iii
A.3 Amostradores pessoais: exposição a partículas nos diferentes percursos.....	vii
A.4 Valor- <i>p</i>	ix
A.5 Localização dos Líquenes em Lisboa.....	xi

Índice de figuras

Figura 2.1 - Esquema do progresso legislativo nacional.	12
Figura 2.2 - Desenho da fase 1 da implementação da ZER na cidade de Lisboa.	15
Figura 3.1 - Mapa da cidade de Lisboa e concelhos periféricos.	23
Figura 3.2 - Pista ciclável no Parque Vale do Silêncio.	25
Figura 3.3 - Mapa do concelho de Lisboa com a localização das vias e percursos cicláveis, na escala 1:90000.	27
Figura 4.1 - Esquema do processo metodológico.	29
Figura 4.2 - Esquema das características de cada percurso escolhido.	30
Figura 4.3 - Mapa da cidade de Lisboa com os três percursos assinalados.	31
Figura 4.4 - Datas das campanhas realizadas no percurso Ribeirinho.	33
Figura 4.5 - Início do percurso Ribeirinho (ida) – Torre Vasco da Gama (Parque das Nações).	34
Figura 4.6 - Fim do percurso Ribeirinho (ida) – Torre de Belém (Belém).	34
Figura 4.7 - Datas das campanhas realizadas no percurso Cidade.	35
Figura 4.8 - Início da campanha do percurso Cidade (ida) – Gare do Oriente (Parque das Nações).	36
Figura 4.9 - Zona de fim da medição do percurso Cidade (ida) – entrada do acesso pedonal ao Parque Florestal de Monsanto (Benfica).	36
Figura 4.10 - Datas das campanhas realizadas no percurso Monsanto.	37
Figura 4.11 - Local de início das medições no percurso Monsanto (uma das entradas para Monsanto) (ida) – Estrada Serafina (Monsanto).	38
Figura 4.12 - Zona de término das medições do percurso Monsanto (ida) – Estrada de Montes Claros (Monsanto); fim do percurso ciclável em Monsanto.	38
Figura 4.13 - EQA Avenida da Liberdade.	39
Figura 4.14 - EQA Entrecampos.	40
Figura 4.15 - EQA Olivais.	40
Figura 4.16 - EQA Restelo.	41
Figura 4.17 - Área com Oliveiras em Montargil onde foi feita a recolha dos líquenes.	42
Figura 4.18 - Líquenes nas Oliveiras.	43
Figura 4.19 - Preparação das amostras para o período de exposição.	43
Figura 4.20 - Líquene preso com fio de nylon a árvore num dos locais de exposição do percurso Cidade (Alvalade).	44

Figura 4.21 - Limpeza das amostras em laboratório após o seu período de exposição.	45
Figura 4.22 - Secagem das amostras a temperatura ambiente, durante um período de 24 horas, em laboratório.	45
Figura 4.23 - Lavagem das amostras com água desmineralizada em laboratório.	45
Figura 5.1 - Comparação da concentração mássica obtida através dos três equipamentos operando em simultâneo para as PM ₁₀ , em µg.m ⁻³	49
Figura 5.2 - Comparação da concentração mássica obtida através dos três equipamentos operando em simultâneo para as PM _{2,5} , em µg.m ⁻³	50
Figura 5.3 - Representação gráfica das concentrações de PM ₁₀ obtidas pelos aparelhos portáteis <i>SidePak</i> em comparação com as concentrações obtidas das quatro estações de monitorização da qualidade do ar, por período de amostragem e percurso, em µg.m ⁻³	52
Figura 5.4 - Representação gráfica das concentrações de PM _{2,5} obtidas pelos aparelhos portáteis <i>SidePak</i> em comparação com as concentrações obtidas das duas estações de monitorização da qualidade do ar, por período de amostragem e percurso, em µg.m ⁻³	53
Figura 5.5 - Diagrama de caixa dos níveis de concentrações de partículas inaláveis (PM ₁₀) para os três percursos em estudo, em µg.m ⁻³	54
Figura 5.6 - Diagrama de caixa dos níveis de concentrações de partículas inaláveis (PM _{2,5}) para os três percursos em estudo, em µg.m ⁻³	56
Figura 5.7 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM ₁₀) no percurso Ribeirinho, em dias de semana, no período das 8:00-10:00, em µg.m ⁻³	59
Figura 5.8 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM ₁₀) no percurso Ribeirinho, em dias de semana, no período das 11:00-13:00, em µg.m ⁻³	60
Figura 5.9 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM ₁₀) no percurso Ribeirinho, em dias de fim de semana, no período das 8:00-10:00, em µg.m ⁻³	61
Figura 5.10 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM ₁₀) no percurso Ribeirinho, em dias de fim de semana, no período das 11:00-13:00, em µg.m ⁻³	62
Figura 5.11 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM _{2,5}) no percurso Ribeirinho, em dias de semana, no período das 8:00-10:00, em µg.m ⁻³	64
Figura 5.12 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM _{2,5}) no percurso Ribeirinho, em dias de semana, no período das 11:00-13:00, em µg.m ⁻³	65
Figura 5.13 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM _{2,5}) no percurso Ribeirinho, em dias de fim de semana, no período das 8:00-10:00, em µg.m ⁻³	66
Figura 5.14 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM _{2,5}) no percurso Ribeirinho, em dias de fim de semana, no período das 11:00-13:00, em µg.m ⁻³	67
Figura 5.15 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM ₁₀) no percurso Cidade, em dias de semana, no período das 8:00-10:00, em µg.m ⁻³	70
Figura 5.16 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM ₁₀) no percurso Cidade, em dias de semana, no período das 11:00-13:00, em µg.m ⁻³	71
Figura 5.17 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM ₁₀) no percurso Cidade, em dias de fim de semana, no período das 8:00-10:00, em µg.m ⁻³	72

Figura 5.18 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM_{10}) no percurso Cidade, em dias de fim de semana, no período das 11:00-13:00, em $\mu g.m^{-3}$	73
Figura 5.19 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis ($PM_{2.5}$) no percurso Cidade, em dias de semana, no período das 8:00-10:00, em $\mu g.m^{-3}$	75
Figura 5.20 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis ($PM_{2.5}$) no percurso Cidade, em dias de semana, no período das 11:00-13:00, em $\mu g.m^{-3}$	76
Figura 5.21 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis ($PM_{2.5}$) no percurso Cidade, em dias de fim de semana, no período das 8:00-10:00, em $\mu g.m^{-3}$	77
Figura 5.22 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis ($PM_{2.5}$) no percurso Cidade, em dias de fim de semana, no período das 11:00-13:00, em $\mu g.m^{-3}$	78
Figura 5.23 - Mapas das concentrações de partículas inaláveis (PM_{10}) no percurso Monsanto, em $\mu g.m^{-3}$	80
Figura 5.24 - Mapas das concentrações de partículas inaláveis ($PM_{2.5}$) no percurso Monsanto, em $\mu g.m^{-3}$	81
Figura 5.25 - Distribuição espacial das condutividades elétricas dos líquenes expostos nas diferentes ciclovias da cidade de Lisboa, em $mSm^{-1}g^{-1}$	84

Índice de tabelas

Tabela 2.1 - Fontes emissoras de partículas finas e grosseiras.	8
Tabela 2.2 – Aplicação dos limiares de avaliação superiores e inferiores das partículas em suspensão.	13
Tabela 2.3 – Valores limite para as PM_{10} e as $PM_{2.5}$	14
Tabela 2.4 - Classificação das estações de monitorização quanto ao tipo de zona onde se localizam e por fonte de emissão dominante.	17
Tabela A.1.1 - Valores dos dois tipos de PM medidos nos três tipos de aparelhos usados no controlo de qualidade, em $\mu g.m^{-3}$	i
Tabela A.2.1 - Concentrações das PM_{10} obtidas pelos amostradores pessoais e pelas EQA, nos diferentes períodos de medição nos três percursos em estudo, em $\mu g.m^{-3}$	iii
Tabela A.2.2 - Concentrações das $PM_{2.5}$ obtidas pelos amostradores pessoais e pelas EQA, nos diferentes períodos de medição nos três percursos em estudo, em $\mu g.m^{-3}$	v
Tabela A.3.1 - Exposição a PM_{10} nos três percursos em estudo, em $\mu g.m^{-3}$	vii
Tabela A.3.2 - Exposição a $PM_{2.5}$ nos três percursos em estudo, em $\mu g.m^{-3}$	vii
Tabela A.4.1 - Teste estatístico de Mann-Whitney: valor- p da comparação dos períodos horários e tipologia de dias entre os três percursos em estudo.	ix
Tabela A.5.1 - Localização geográfica dos 34 líquenes distribuídos nas ciclovias da cidade de Lisboa.	xi

Lista de acrónimos e siglas

AML – Área Metropolitana de Lisboa

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

BTT – Bicicleta Todo o Terreno

C - Cidade

CCDR – Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional

CCDR-LVT – Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo

CE – Comissão Europeia

CML – Câmara Municipal de Lisboa

DL – Decreto-Lei

EEA – *European Environmental Agency*, Agência Europeia do Ambiente

EP – Estradas de Portugal, S.A.

EPA – *United States Environmental Protection Agency*

EQA – Estação de monitorização da Qualidade do Ar

EUA – Estados Unidos da América

FDS – Fim de semana

FEDER – Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional

GEE – Gases com Efeito de Estufa

GPS – *Global Positioning System*, Sistema de Posicionamento Global

IMTT – Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres, I.P.

INE – Instituto Nacional de Estatística, I.P.

M - Monsanto

PM – *Particulate Matter*, Matéria Particulada

POR – Programa Operacional Regional

QA – Qualidade do Ar

QREN – Quadro de Referência Estratégico Nacional

R - Ribeirinho

RMQA – Rede de Monitorização da Qualidade do Ar

S - Semana

UE – União Europeia

VL – Valor limite

WHO - *World Health Organization*, Organização Mundial de Saúde (OMS)

ZER – Zona de Emissões Reduzidas

1 Introdução

1.1 Enquadramento

Ao longo das últimas décadas tem existido cada vez mais a preocupação em introduzir políticas de transporte que promovam uma mobilidade sustentável. A mobilidade sustentável é um conceito da área da sustentabilidade, e assenta num *conjunto de processos e ações orientadas para a deslocação de pessoas e bens, com um custo económico razoável e simultaneamente minimizando os efeitos negativos sobre o ambiente e sobre a qualidade de vida das pessoas, tendo em vista o princípio de satisfação das necessidades atuais sem comprometer as gerações futuras* (IMTT, 2011). Um exemplo de um meio de transporte considerado sustentável é a bicicleta. O uso de um meio de transporte alternativo e não poluente, como a bicicleta, contribui não só para uma redução dos fatores de risco associados à inatividade física, como para a proteção do ambiente, tornando as cidades mais sustentáveis. Contudo, os utilizadores de modos suaves, em meio urbano, encontram-se expostos a diversos poluentes atmosféricos.

A poluição do ar tem sido uma das temáticas mais discutidas no contexto europeu. Tida como um dos problemas graves do século XXI tem vindo a ser feito um esforço para se encontrarem respostas ao aumento dos níveis de poluição atingidos pelos Estados-Membros. Apesar da diminuição significativa nas últimas décadas das concentrações de poluentes atmosféricos na Europa, resultante da mudança de políticas nos sectores de transportes e energia, os níveis permanecem acima do recomendável e os problemas da qualidade do ar persistem (EEA, 2014). A poluição atmosférica afeta não só a saúde humana como o ambiente (EEA, 2014). Este é um problema à escala local, regional e mundial; os poluentes libertados num local podem ser transportados para outro, perto ou distante, provocando no local de destino uma redução da qualidade do ar (EEA, 2014).

As partículas em suspensão na atmosfera (PM advém do Inglês, significando *particulate matter*) são reconhecidas como dos poluentes que mais danos causam à saúde humana (EEA, 2014). Uma parte significativa dos europeus vive em cidades onde não são respeitadas as normas da qualidade do ar (EEA, 2014). Sabe-se que nos últimos anos aproximadamente 40% da população que reside nas zonas urbanas esteve exposta a concentrações de partículas em suspensão com diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a 10 μm (PM_{10}) superiores aos valores estabelecidos pela União Europeia (EEA, 2014). Quanto às partículas finas em suspensão com diâmetro inferior a 2.5 μm ($\text{PM}_{2.5}$) estima-se que estas sejam responsáveis pela redução em mais de oito meses da esperança média de vida na UE (EEA, 2014). O tráfego urbano é uma das fontes de poluição atmosférica e tem vindo a ter um crescente aumento (CE,

2013). Estudos revelam que em média cerca de 496 mil veículos com origem nos concelhos periféricos entram e saem da cidade de Lisboa todos os dias (EP, 2012).

Com base nesta realidade é necessário avaliar o tipo de poluentes a que os utilizadores da rede ciclável de Lisboa estão sujeitos, reconhecendo-se as fontes emissoras para que possam ser tomadas medidas de controlo da poluição.

1.2 Objetivos e âmbito

O principal objetivo desta dissertação foi avaliar a exposição a poluentes atmosféricos dos utilizadores das várias ciclovias da cidade de Lisboa. Para tal recorreu-se a métodos instrumentais que permitiram avaliar a concentração dos poluentes ao longo de cada percurso. O poluente medido foram as partículas atmosféricas tanto as PM_{10} como as $PM_{2.5}$. Utilizaram-se também líquenes na biomonitorização de poluentes atmosféricos. Este organismo é muito utilizado na avaliação espacial da qualidade do ar no panorama nacional e europeu.

Este estudo foi inserido num projeto desenvolvido no âmbito das atividades de investigação do grupo ETN (Engenharia e Técnicas Nucleares) do Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares, Instituto Superior Técnico.

A dissertação tem como base três matérias que se interligam: ambiente, saúde e mobilidade.

1.3 Organização da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em seis capítulos. O primeiro capítulo é referente à introdução da temática, a sua importância na atualidade, o enquadramento do projeto, e a definição dos objetivos e âmbito da tese.

O segundo capítulo é o *Estado da arte*. Neste capítulo pode ser encontrada uma síntese dos conceitos relevantes para o tema por forma a uma melhor compreensão dos capítulos subsequentes. Nesta secção aborda-se a biomonitorização e o porquê da escolha do Líquene como biomonitor para este trabalho.

No terceiro capítulo apresenta-se a cidade de Lisboa como caso de estudo. Nesta parte do trabalho é feita a caracterização do local e descrita a rede ciclável da cidade, por forma a enquadrar a metodologia adotada. Inclui-se o conceito de mobilidade ciclável e um subcapítulo sobre a qualidade do ar na cidade, essenciais para uma melhor interpretação dos resultados apresentados nos capítulos posteriores.

No capítulo quatro é descrito o processo metodológico que foi traçado para a dissertação: os métodos instrumentais e a utilização de biomonitores.

O quinto capítulo está reservado para a apresentação, análise e interpretação dos resultados obtidos através das medições efetuadas nos três percursos escolhidos, bem como da distribuição espacial das condutividades elétricas dos Líquenes nas ciclovias da cidade de Lisboa. Há espaço ainda para o controlo de qualidade feito aos aparelhos portáteis usados nas campanhas, e um paralelismo entre os valores registados pelos aparelhos portáteis e os recolhidos pelas várias Estações de Monitorização de Qualidade do Ar na cidade. Encerra-se o capítulo com a comparação entre métodos instrumentais e a biomonitorização.

No último capítulo, o capítulo seis, retiram-se as devidas conclusões do trabalho. Apresenta-se uma síntese da dissertação e destacam-se os pontos mais relevantes. O cumprimento dos objetivos propostos é sujeito a avaliação, identificam-se as limitações e são propostos desenvolvimentos futuros.

2 Estado da arte

2.1 Abordagem ao estado da arte

Neste capítulo são abordados os conceitos a serem explorados na adoção da metodologia, na interpretação de resultados, e nas conclusões. Inicia-se com a problemática da poluição do ar, os poluentes e suas fontes emissoras, sendo o enfoque da tese as partículas atmosféricas, fração fina e grosseira. Refere-se os impactos deste tipo de poluentes na saúde pública e faz-se o enquadramento legislativo. Introduzida a problemática, sucede-se o subcapítulo da monitorização e inserido neste, a biomonitorização, parte importante na realização deste trabalho, e do líquene em particular.

2.2 A poluição atmosférica e a qualidade do ar

Segundo a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2014), a poluição do ar é “a contaminação do ambiente interior ou exterior por agentes químicos, físicos ou biológicos, que modifiquem as características naturais da atmosfera.”

A poluição atmosférica é um problema grave, sem fronteiras nem barreiras físicas, desde a escala regional até à mundial, afetando tanto os países desenvolvidos como os países em vias de desenvolvimento (WHO, 2014). As indústrias, edifícios e veículos emitem misturas complexas de poluentes atmosféricos, a sua maioria prejudiciais para a saúde (WHO, 2014).

Em termos cronológicos, a poluição do ar de origem antropogénica tem lugar desde muito antes da revolução industrial. Na pré-revolução industrial, o uso de fogo para a queima de madeira e carvão vegetal por parte de tribos já emitia poluentes para a atmosfera (Stern, 1984). Agravaram-se as emissões a partir de 1784 quando James Watt projetou a máquina a vapor movida por combustíveis fósseis ou vegetais (Stern, 1984). Na primeira metade do século XX ocorre um considerável aumento da poluição do ar devido ao crescimento das cidades e indústrias (Stern, 1984). De 1925 a 1950 substituem-se em algumas cidades americanas a queima de carvão por gás o que conduziu a uma melhoria da qualidade do ar em Pittsburg, nos EUA (Stern, 1984).

Do ano de 1950 a 1980 houve o cuidado de controlar as emissões de poluentes dos veículos automóveis – remoção de SO_x (óxidos de enxofre) dos gases e dessulfurização dos combustíveis (Stern, 1984).

Na década de 80 realizaram-se estudos sobre meteorologia aplicada à poluição do ar e sobre modelação da dispersão de poluentes. Implementaram-se também sistemas de monitorização da qualidade do ar em

várias partes do mundo (Stern, 2005). Após este período e até à entrada do milénio deu-se um aumento da responsabilização ambiental por parte do setor industrial, adotando-se processos menos poluentes (Stern, 2005). Dessa forma, a indústria foi perdendo relevância e o tráfego automóvel passou a ser uma das principais fontes emissoras (Almeida, 2004).

A exposição a poluentes atmosféricos está fora do controlo dos indivíduos, requerendo ação por parte das autoridades públicas a nível nacional, regional e internacional (WHO, 2014). Ao reduzir-se a poluição do ar está também a reduzir-se as emissões de dióxido de carbono (CO₂) e de outros poluentes climáticos de curta duração, como partículas de carbono negro e metano, contribuindo para a mitigação das alterações climáticas a médio e longo prazo (WHO, 2014).

2.3 Os poluentes atmosféricos

Em 2005, a OMS lança as *WHO Air quality guidelines* (linhas de orientação de qualidade do ar) que constitui um guia global dos tetos e limites dos poluentes principais que prejudicam a saúde pública. As linhas de orientação têm uma aplicação mundial e são baseadas na avaliação especializada das evidências atuais para os seguintes poluentes, em todas as regiões da OMS (WHO, 2014):

- **Partículas em suspensão (PM)**
- Ozono
- Dióxidos de azoto
- Dióxidos de enxofre.

Os poluentes atmosféricos podem ser divididos em duas categorias: **poluentes primários** e **poluentes secundários** (Stern, 2005).

Os poluentes primários resultam de contaminantes emitidos diretamente para a atmosfera enquanto os poluentes designados secundários advêm de reações químicas entre os poluentes primários e a atmosfera (Stern, 2005). Na categoria dos primários tem-se poluentes como o CO₂, SO₂ e NO. Dos poluentes secundários destaca-se o O₃ (Stern, 2005).

2.4 As partículas atmosféricas

Particulate matter (PM) é o material particulado podendo também ser chamado de partículas atmosféricas em suspensão ou aerossóis (Stern, 2005). Como o próprio nome indica são partículas suspensas no ar, e consistem numa mistura de partículas sólidas e líquidas (aerossóis) (WHO, 2013).

De entre as propriedades físicas das partículas realçam-se o seu número, concentração, massa, dimensão, composição química e propriedades óticas (Almeida, 2004). Saber a dimensão das partículas é de extrema importância visto que outras propriedades dependem da primeira, como, por exemplo, a velocidade de deposição (Almeida, 2004). Mais, a partir de uma propriedade física como a dimensão das partículas é possível identificar os processos químicos e fontes emissoras originárias, assim como avaliar o seu nível de influência na saúde e clima (Almeida, 2004).

A dimensão deste tipo de poluente é expressa em diâmetro aerodinâmico (DA). Ao longo da dissertação recorrer-se-á à nomenclatura internacional deste tipo de poluente: **PM_x**, que significa material particulado com diâmetro inferior a x µm (Almeida, 2004).

Os indicadores mais usados para descrever as PM em relação a questões de saúde pública referem-se à concentração mássica de partículas com um diâmetro inferior a 10 µm (**PM₁₀ – partículas grosseiras**), e a partículas com diâmetro inferior a 2.5 µm (**PM_{2.5} – partículas finas**) (WHO, 2013).

As partículas apresentam uma mistura de características físicas e químicas que variam de acordo com o local (WHO, 2013). Os principais componentes das PM são o sulfato, nitratos, amónia, cloreto de sódio, carbono preto, poeira mineral, e água (WHO, 2014). Em adição também se encontram componentes biológicos nas partículas, como componentes microbianos e alergénios (WHO, 2013). Este tipo de poluente em comparação com qualquer um dos outros tipos de poluentes é o que afeta um maior número de pessoas (WHO, 2014).

No que diz respeito às principais características das partículas finas e grosseiras mencionam-se os processos de formação e o tempo de retenção. Nas partículas finas os processos incluem reações químicas, nucleação, condensação e coagulação. O tempo de retenção da fração fina pode ir de dias a semanas. Quanto à fração grosseira as ações mecânicas e a suspensão de poeiras são os processos que estão na base da sua formação, e este tipo de PM pode permanecer de minutos a dias (Almeida, 2004).

O ciclo de vida do aerossol atmosférico envolve a sua emissão, a dispersão, a transformação, o transporte e a remoção das partículas (Almeida, 2004).

2.4.1 Fontes de PM

As partículas podem ser emitidas diretamente para o ar – **partículas primárias** – ou serem formadas na atmosfera a partir de precursores gasosos, tais como dióxido de enxofre, óxidos de azoto, amónia e compostos orgânicos voláteis que não contenham metano – **partículas secundárias** (WHO, 2013).

Tanto as partículas ditas primárias como os gases precursores podem ter origem quer em fontes antropogénicas (ação humana), quer em fontes naturais (sem influência do homem) (WHO, 2013).

As **fontes antropogénicas** incluem os motores de combustão (diesel - os veículos movidos a diesel expõem uma maior quantidade de partículas - e petróleo), combustível sólido (carvão, lenhite, óleo combustível pesado e biomassa), combustão para produção de energia para habitações e indústrias, outras atividades industriais (construção, mineração, cimento, cerâmica), erosão do pavimento pelo tráfego rodoviário e o desgaste dos pneus e travões (WHO, 2013). A amónia é libertada principalmente pela agricultura (WHO, 2013).

As reações químicas dos gases poluentes formam as partículas secundárias na atmosfera (WHO, 2013). São produtos da transformação atmosférica de óxidos de azoto – emitidos na sua maioria pelo tráfego automóvel e alguns processos industriais – e dióxido de enxofre resultantes da combustão de combustíveis contendo enxofre (WHO, 2013). As partículas secundárias são mais detetadas nas partículas finas (WHO, 2013).

Outra fonte que contribui para a emissão das PM é a ressuspensão de poeiras e solo, particularmente em áreas áridas e durante ocorrências de transporte de poeiras de longo alcance. Um exemplo é o transporte de poeiras do Sahara para o sul da Europa (WHO, 2013).

Na Tabela 2.1 lêem-se as fontes emissoras divididas por cada tipo de PM.

Tabela 2.1 - Fontes emissoras de partículas finas e grosseiras (Almeida, 2004).

Partículas finas	Partículas grosseiras
Combustão (carvão, fuel, gasolina, diesel, madeira)	Ressuspensão do solo (indústria, agricultura, vias não pavimentadas)
Conversão gás partícula de NO _x , SO ₃ e COVs	Fontes biológicas
Fundições	Construção e demolição
	<i>Spray</i> marinho

2.4.2 Dispersão das partículas

No meio urbano, a dispersão de poluentes emitidos pelo tráfego rodoviário é largamente suprimida pela presença de edifícios, sendo afetada pela configuração específica das ruas/praças/avenidas (Hertel *et al.*, 2007). A configuração da rua pode ser definida pelos seguintes parâmetros: a sua largura e comprimento, a orientação da rua, a altura dos edifícios da rua, eventuais aberturas nas fachadas dos prédios na rua

(Berkowicz *et al.*, 1996). Os parâmetros mencionados têm de se fazer acompanhar pela informação do tipo de distribuição e composição do tráfego rodoviário, variável de rua para rua (Hertel *et al.*, 2007). As diferenças entre as configurações das ruas e do tráfego numa cidade materializam-se em diferenças significativas dos níveis de poluição mesmo entre pontos separados por curtas distâncias (Hertel *et al.*, 2007).

2.4.3 Diversidade de meios de deposição de partículas

A deposição atmosférica de partículas nos ecossistemas pode ser feita através de (Grantz *et al.*, 2003):

1. *Deposição húmida*: resulta da incorporação de partículas atmosféricas e gases nas gotas de água das nuvens por nucleação, e da sua posterior precipitação em chuva ou neve.
2. *Deposição seca*: no sentido lato este tipo de deposição pode ser entendida como o conjunto de todos os processos que conduzem à remoção de partículas transportadas no ar pela atmosfera devido ao impacte contra superfícies fechadas.
3. *Deposição oculta*: espécies de poluentes gasosas podem ser dissolvidas nas gotas de água suspensas em fenómenos meteorológicos, como o nevoeiro, ou nas nuvens.

Segundo Grantz, Garner *et al.* (2003), as características topográficas e da vegetação influenciam de maneira distinta os meios de deposição de partículas e, de forma geral, a deposição seca é a mais sensível e a deposição húmida a menos sensível às características da superfície da vegetação.

2.4.4 Impactes das PM na saúde

A poluição do ar é um problema ambiental muito grave para a saúde pública constituindo uma maior ameaça nos grupos considerados de risco, como crianças, idosos, e indivíduos que sofrem de doenças respiratórias agudas e crónicas (WHO, 2014). Estima-se que a poluição atmosférica provoca 1.3 milhões de mortes por ano no mundo inteiro (WHO, 2014).

As partículas atmosféricas têm sido alvo de atenção por parte da comunidade científica nas últimas décadas devido à relação entre este tipo de poluente e as doenças respiratórias e cardiovasculares na saúde humana (Dockery & Pope, 1994). A sua dimensão, forma, densidade e reatividade determinam a forma de transporte e a sua reação no trato respiratório humano (Almeida, 2014).

São vários os riscos para a saúde. Listam-se os seguintes: doenças por enfarte, doenças cardíacas, cancro do pulmão, e doenças respiratórias agudas e crónicas, incluindo asma (WHO, 2014).

Em 2012, a poluição atmosférica foi responsável por 3.7 milhões de mortes. No total de mortes ocorridas no mundo inteiro representou uma percentagem de 6.7 (WHO, 2014).

- *Exposição de partículas durante o uso da bicicleta como meio de transporte*

Estudos recentes sugerem que a exposição à poluição do ar durante deslocações no tráfego estão associadas a efeitos adversos na saúde (Peters *et al.*, 2004; Riediker *et al.*, 2004; McCreanor *et al.*, 2007). Alguns estudos fazem a comparação de exposições em diferentes tipos de modos de transporte como, por exemplo, andar *versus* conduzir ou andar de bicicleta *versus* conduzir. Este tipo de estudos são importantes na tomada de decisão de políticas que estimulem a adoção de meios de transporte mais amigos do ambiente (Boogaard *et al.*, 2009). Um número limitado destes estudos teve lugar no Reino Unido (Kaur *et al.*, 2007) e a sua maioria demonstrou que pedestres e ciclistas experienciam níveis inferiores de poluição do ar em comparação com os ocupantes de veículos a motor (Boogaard *et al.*, 2009). Tal pode dever-se ao facto dos gases expelidos pelos carros em frente aos carros ocupados pelos indivíduos em estudo; em alguns casos, podem entrar para o veículo diretamente pelo sistema de ventilação (vanWijnen *et al.*, 1995). Porém, a dose total de poluente é maior nos utilizadores da bicicleta do que nos condutores, principalmente porque os ciclistas inalam mais poluentes devido ao aumento da frequência respiratória (Boogaard *et al.*, 2009).

Ainda são poucos os estudos referentes à exposição a poluentes atmosféricos dos utilizadores das redes cicláveis, o que não deixa de ser incongruente com o aumento do interesse em políticas que estimulem o uso da bicicleta em várias cidades europeias como uma alternativa viável nas áreas urbanas (Boogaard *et al.*, 2009).

2.5 Legislação da Qualidade do Ar

No panorama europeu, a legislação ambiental além do grande objetivo da redução dos GEE, responsáveis pelas alterações climáticas, tem também a grande finalidade de melhorar a qualidade do ar, cuja poluição prejudica a saúde humana e o ambiente, em processos de acidificação e eutrofização (CE, 2014). A política europeia neste contexto recai nos diferentes tipos de poluentes e nas fontes de poluição (CE, 2014).

Em 2005, a Comissão Europeia propôs uma estratégia temática com o objetivo de, até 2020, se reduzir em 40%, face aos valores de 2000, o número de mortes relacionadas com a poluição do ar (CE, 2014).

A Diretiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 21 de maio de 2008 faz a revisão da legislação europeia sobre a qualidade do ar, com o intuito da redução da poluição para níveis que minorizem os efeitos nefastos na saúde humana e ambiente, e aumentar a informação das populações sobre os riscos associados (CE, 2008).

Nesta Diretiva encontram-se as seguintes medidas: definem-se e fixam-se objetivos relativos à qualidade do ar e ambiente, a fim de se reduzir os efeitos prejudiciais na saúde e no ambiente; avalia-se, com uma base comum de critérios e métodos, a qualidade do ar nos Estados-Membros; agrega-se informação sobre a qualidade do ar de modo a se traçarem tendências a longo prazo; garante-se o acesso das populações à informação sobre a qualidade do ar; e promove-se uma maior cooperação entre os Estados-Membros para reduzir a poluição do ar (CE, 2008).

A Diretiva em questão estabelece um regime de avaliação da qualidade do ar, fixando os limiares de avaliação por poluente, os critérios de acordo com o método de avaliação, os métodos de medição de referência, os valores limite, os limiares de informação e alerta, e os níveis críticos para a proteção da vegetação (CE, 2008). Os Estados-Membros ficam responsabilizados por cumprir o estipulado, por designar as autoridades e organismos responsáveis pela avaliação da qualidade do ar, pela cooperação com outros Estados-Membros e a Comissão Europeia, e por disponibilizarem a informação ao público constante nos relatórios anuais relativos a todos os poluentes incluídos na Diretiva (CE, 2008). Os Estados-Membros acumulam também a responsabilidade da determinação de um “regime de sanções aplicáveis às violações das disposições nacionais aprovadas em aplicação da presente Diretiva e tomam todas as medidas necessárias para assegurar a sua aplicação. As sanções previstas devem ser eficazes, proporcionais e dissuasivas.” (CE, 2008)

Esta Diretiva revoga e substitui (CE, 2008):

- a Diretiva 96/62/CE – avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente,
- a Diretiva 1999/30/CE – valores limite para o dióxido de enxofre, dióxido de azoto e óxidos de azoto, partículas em suspensão e chumbo no ar,
- a Diretiva 2000/69/CE – valores limite para o benzeno e o monóxido de carbono no ar,
- a Diretiva 2002/3/CE – ozono no ar,
- a Diretiva 2004/107/CE – arsénio, cádmio, mercúrio, níquel e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos no ar,
- a Decisão 97/101/CE – estabelece um intercâmbio mútuo de informações e dados sobre a poluição do ar nos Estados-Membros.

No quadro legislativo nacional, o Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro, estabelece o regime da avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente. Transpõe-se a Diretiva 2004/107/CE, do Parlamento

Europeu e do Conselho de 15 de dezembro, e a Diretiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 21 de maio, para a ordem jurídica interna (CCDR-LVT, 2012).

Com a publicação do DL acima referido foram revogados cinco diplomas como esquematizado na Figura 2.1 (CCDR-LVT, 2012).

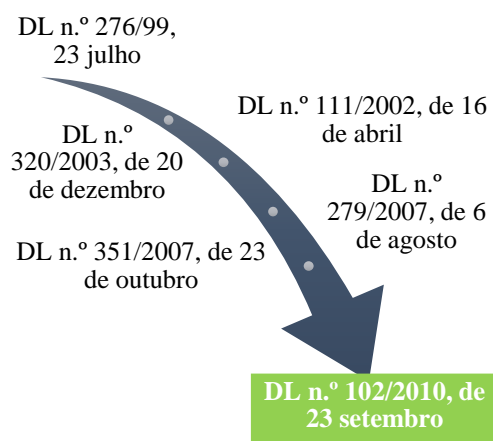


Figura 2.1 - Esquema do progresso legislativo nacional.

O DL n.º 102/2010 fixa os objetivos para a qualidade do ar ambiente considerando as normas, as orientações e os programas da OMS. Estabelece ainda o regime da avaliação e gestão da qualidade do ar, nos moldes da Diretiva da CE, atribuindo uma importância significativa ao “combate das emissões de poluentes na origem e à aplicação das medidas mais eficazes de redução de emissões, a nível local e nacional, como formas de proteção da saúde humana e do ambiente.”

A Agência Portuguesa do Ambiente (APA) é a autoridade nacional designada para avaliar a qualidade do ar em Portugal. Compete-lhe, entre outras responsabilidades, garantir, coordenar e harmonizar os procedimentos para a aplicação do DL em causa, cooperando com outras entidades intervenientes neste processo. Para efeitos do processo de avaliação da qualidade do ar ambiente, as zonas e aglomerações para cada poluente são delimitadas pelas Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR), em concordância com a APA. Cabe às CCDR proporem a constituição das suas redes ou estações de monitorização da qualidade do ar, estando depois essas propostas sujeitas a aprovação por parte da APA.

Centremo-nos agora no decretado no documento que diz respeito às **PM**.

No anexo III do DL n.º 102/2010 são determinados os requisitos para a avaliação das concentrações de partículas em suspensão, PM_{10} e $PM_{2.5}$, como os seus limiares de avaliação superiores e inferiores, apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Aplicação dos limiares de avaliação superiores e inferiores das partículas em suspensão (DL n.º 102/2010).

	Média por período de 24 horas (PM_{10})	Média anual (PM_{10})	Média anual ($PM_{2.5}$)(¹)
Limiar superior de avaliação	70% do valor limite (35 $\mu g.m^{-3}$, a não exceder mais de 35 vezes em cada ano civil).	70% do valor limite (28 $\mu g.m^{-3}$)	70% do valor limite (17 $\mu g.m^{-3}$)
Limite inferior de avaliação	50% do valor limite (25 $\mu g.m^{-3}$, a não exceder mais de 35 vezes em cada ano civil).	50% do valor limite (20 $\mu g.m^{-3}$)	50% do valor limite (12 $\mu g.m^{-3}$)

No mesmo DL são apresentados no anexo XII os valores limite para a proteção da saúde humana para as PM_{10} , e no anexo XV, o objetivo nacional de redução de exposição, valor alvo e valor limite para as $PM_{2.5}$. Para propósito da dissertação irá considerar-se apenas o **valor limite**. Os valores limite das PM em estudo encontram-se apresentados na Tabela 2.3.

¹ O limiar superior de avaliação e o limiar inferior de avaliação para as $PM_{2.5}$ não se aplicam às medições efetuadas para avaliar o cumprimento do objetivo de redução de exposição às $PM_{2.5}$ para proteção da saúde humana.

Tabela 2.3 – Valores limite para as PM₁₀ e as PM_{2.5} (DL n.º 102/2010).

	Período de referência	Valor limite	Margem de tolerância	Data limite para a observância do valor limite
PM ₁₀	1 dia	50 µg.m ⁻³ , a não exceder mais de 35 vezes por ano civil.	50%	Já em vigor desde 1 de janeiro de 2005.
	Ano civil	40 µg.m ⁻³	20%	
PM _{2.5}	Ano civil	25 µg.m ⁻³	Fase 1 ⁽²⁾	1 de janeiro de 2015.
	Ano civil	20 µg.m ⁻³	Fase 2 ⁽³⁾	1 de janeiro de 2020

É ainda estipulado no DL, anexo XVII “Informação ao público”, que as informações que digam respeito às concentrações no ar das partículas em suspensão, entre outro tipo de poluentes, devem ser atualizadas, pelo menos, diariamente e, sempre que possível, de hora a hora.

Cumprindo o disposto no Decreto-Lei mencionado, em junho de 2005, a CCDR-LVT preparou o Plano de Melhoria da Qualidade do Ar na Região de Lisboa e Vale do Tejo (PMQA-LVT) para o intervalo de avaliação do ano 2001 a 2004. O plano foi revisto em dezembro de 2006 e está na base da elaboração do respetivo Programa de Execução (PExec), aprovado pelo Despacho Conjunto n.º 20763, publicado em 16 de setembro de 2009. As medidas que nele constam são de carácter obrigatório (CCDR-LVT, 2012) e foram implementadas no período 2005-2012 (CCDR-LVT, 2014). Uma das medidas que constam no PExec é a introdução da **Zona de Emissões Reduzidas (ZER)**.

- *Aprovação da ZER na cidade de Lisboa*

A ZER aparece como uma medida do programa de execução do PMQA-LVT, extensível às aglomerações⁴ da AML Norte, AML Sul e Setúbal, em áreas onde se registaram níveis dos poluentes

² Fase 1 - 20% até 11 de junho de 2008, a reduzir no dia 1 de janeiro seguinte e em cada período de 12 meses subsequentes numa percentagem anual idêntica, até atingir 0% em 1 de janeiro de 2015.

³ Fase 2 – valor limite indicativo a rever pela Comissão em 2013 à luz de novas informações sobre os efeitos na saúde e ambiente, a viabilidade técnica e a experiência obtida com o valor alvo.

⁴ Segundo o DL n.º 102/2010 tem-se como definição de aglomeração “uma zona que constitui uma conurbação caracterizada por um número de habitantes superior a 250 000 ou em que o número de habitantes se situe entre os 250 000 e os 50 000 e tenha uma densidade populacional superior a 500 hab/km².”

PM₁₀ e NO_x (este último apenas na AML Norte) superiores aos valores limite permitidos por lei (CCDR-LVT, 2011). As zonas de emissões reduzidas são áreas onde é restrita a entrada e circulação de veículos mais poluentes que não cumpram as normas EURO com o intuito de se reduzir a poluição nessas áreas.

A implementação da ZER em Lisboa aconteceu em duas fases. A primeira fase no dia 4 de julho de 2011 e a 2.^a fase a 1 de abril de 2012 (CML, 2014). Na 1.^a fase restringe-se a circulação de veículos que não respeitem as normas de emissão EURO 1, isto é, veículos fabricados antes de julho de 1992, no eixo da Av. da Liberdade e a Baixa, como representado na Figura 2.2.



Figura 2.2 - Desenho da fase 1 da implementação da ZER na cidade de Lisboa (CML, 2014).

A 2.^a fase da implementação da ZER diz respeito ao alargamento da área, assim como ao aumento da exigência ambiental e à redução das exceções, passando a existir duas zonas com restrições à circulação (CML, 2014):

- Zona 1 – eixo Av. Da Liberdade/Baixa; restrição à circulação de veículos que não respeitem as normas EURO 2, ou seja, os veículos ligeiros fabricados antes de janeiro de 1996 e pesados antes de outubro de 1996.
- Zona 2 – delimitada pela Av. Ceuta, o eixo Norte-Sul (IP7), pelas Avenidas das Forças Armadas, Av. E.U.A., Av. General Spínola, e pela Avenida Infante Dom Henrique; restrição à circulação de veículos que não respeitem as normas EURO 1.

Contudo, existe uma periodicidade de aplicação da ZER e exceções admitidas. A ZER atua nos dias úteis das 7 horas às 21 horas. As exceções são os veículos de emergência, especiais e de pessoas com mobilidade reduzida. Igualmente os veículos de interesse histórico que estejam devidamente certificados. Na zona 1, só poderão circular os residentes da zona 1, enquanto na zona 2 podem circular todos os residentes da cidade de Lisboa (CML, 2014).

Todas as zonas de emissões reduzidas em território europeu dirigem-se a veículos pesados de mercadorias e pesados de passageiros. Porém algumas chegam a englobar veículos ligeiros de mercadorias, ligeiros de passageiros e motociclos como é o caso da ZER em Lisboa (IMTT, 2011).

Em Londres, desde 2008, as ZER atuam apenas sobre pesados enquanto em Berlim, desde o mesmo ano, as ZER dirigem-se a ligeiros e pesados (CML, 2011). Atualmente, a maioria das ZER tem um período de funcionamento de 24 horas por dia, 365 dias por ano, sendo as exceções a ZER em Itália, operando apenas em parte do dia e durante o período de Inverno (IMTT, 2011), e a ZER em Lisboa como descrito acima. Assim, as ZER variam de acordo com o tipo de veículos no que diz respeito ao seu formato, à abrangência territorial e ao grau de exigência ambiental (CML, 2011).

2.6 Monitorização da qualidade do ar

O objetivo da monitorização é a determinação de tendências temporais e espaciais em níveis e efeitos dos poluentes que, relativamente às suas fontes, são depositados ou transportados local, regional ou internacionalmente (Wolterbeek & Garty *et al.*, 2002). A monitorização da qualidade do ar é crucial para a caracterização, identificação e estudo das fontes emissoras, e pode ser realizada através de métodos instrumentais ou de biomonitorios.

2.6.1 Rede de Monitorização da Qualidade do Ar

Como anteriormente referido, são diversas as substâncias poluentes presentes na atmosfera. Nas estações de monitorização medem-se os poluentes para os quais se encontram definidos os níveis de concentrações, que não devem ser excedidos, na legislação nacional e comunitária: CO, NO_x, SO₂, O₃, as PM₁₀ e PM_{2.5}, e compostos orgânicos voláteis (BTX) (CCDR-LVT, 2014). As estações da RMQA classificam-se quanto ao tipo de zona onde estão instaladas, e a sua tipologia está dependente da fonte dominante de emissão de poluentes nessa mesma zona, sendo designadas como estações de tráfego, de fundo e industriais, consoante o caso (CCDR-LVT, 2014). A síntese desta informação pode ser conferida na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Classificação das estações de monitorização quanto ao tipo de zona onde se localizam e por fonte de emissão dominante (CCDR-LVT, 2012).

Zona onde se localizam	Urbana
	Suburbana
	Rural
	Rural de fundo
Fontes de emissão dominante	De tráfego
	De fundo
	Industriais

De acordo com a CCDR-LVT, as **estações de tráfego** estão localizadas na proximidade de vias de tráfego intenso e permitem a avaliação do risco máximo de exposição da população às emissões do tráfego automóvel. Apesar da exposição ser considerada de curta duração os níveis de poluição que se observam são muito elevados.

As **estações de fundo**, por sua vez, não são instaladas próximas de vias de tráfego, não sendo influenciadas de forma direta por este tipo de fonte emissora, ou por qualquer outro. O objetivo é avaliar a exposição média da população aos fenómenos da poluição de fundo.

Por último, as **estações industriais** localizam-se em zonas industriais. A partir destas é possível conhecer as concentrações máximas de determinados poluentes que provêm de atividades industriais, aos quais a população pode estar pontualmente exposta.

O DL n.º 102/2010 estabelece os critérios de localização das estações de rede de monitorização da qualidade do ar.

O nosso país, na área da avaliação e gestão da qualidade do ar, está dividido em aglomerações e zonas⁵, que formam as unidades básicas de gestão da qualidade do ar (CCDR-LVT, 2012).

A região de Lisboa e Vale do Tejo, doravante denominada RLVT, engloba três aglomerações e duas zonas (CCDR-LVT, 2012):

Aglomerações:

- Área Metropolitana de Lisboa Norte (AMLNorte)
- Área Metropolitana de Lisboa Sul (AMLSul)
- Setúbal

⁵ Entende-se por zona uma “área geográfica de características homogéneas, em termos de qualidade do ar, ocupação de solo e densidade populacional delimitada para fins de avaliação e gestão da qualidade do ar.” (DL n.º 102/2010)

Zonas:

- Vale do Tejo e Oeste
- Península de Setúbal/Alcácer do Sal – zona de intervenção mista da CCDR-LVT e da CCDR-Alentejo.

2.7 Biomonitorização

Por biomonitorização entende-se, como o próprio nome sugere, a monitorização da qualidade do ambiente através do uso de organismos vivos. Os organismos passam assim a ser denominados **biomonitores** e servem para a obtenção de informação quantitativa de certas características da biosfera (Wolterbeek & Garty *et al.*, 2002).

Para esta dissertação o tipo de biomonitor estudado e a que se recorreu para a biomonitorização da qualidade do ar foi o líquene.

Os líquenes são os biomonitores mais utilizados em ambientes terrestres (Puckett, 1988) e a par com os musgos são os organismos mais usados como biomonitores em estudos de poluição do ar (Wolterbeek, 2002).

Em poluição do ar são vários os estudos que realçam o potencial dos líquenes *in situ* ou transplantados como biomonitores eficientes de qualidade do ar (Garty *et al.*, 1996; González *et al.*, 1996; Gries, 1996). Os líquenes são uma espécie dependente de *inputs* atmosféricos para as suas necessidades de nutrientes e devido à sua capacidade para a bioacumulação, esta espécie é rica em informação da biodisponibilidade de poluentes atmosféricos persistentes e os seus efeitos biológicos (Godinho, 2010).

Geralmente atribui-se o termo de bioindicador a organismos cuja utilização permite a identificação e determinação qualificativas de fatores ambientais (gerados pelo homem). O termo biomonitor destina-se a organismos usados para a determinação quantitativa de contaminantes (Conti & Cecchetti, 2001). Um biomonitor é sempre também um bioindicador mas o contrário não se aplica. Um bioindicador não tem necessariamente todos os requisitos para ser um biomonitor (Markert & Breure *et al.*, 2003).

As principais características dos biomonitores são (Sloof, 1993; Conti & Cecchetti, 2001):

1. Acumulam os poluentes sem, contudo, serem mortos pelos níveis aos quais estão em contacto.
2. Têm ampla distribuição geográfica.

3. São abundantes, sedentários ou possuem mobilidade reduzida, assim como são representativos da área de colheita.
4. Estão disponíveis todo o ano e permitem a recolha de um número suficiente de amostras para análise.
5. São de fácil colheita e resistem às condições de laboratório.
6. Têm um fator de concentração elevado do contaminante em estudo, não sendo necessário um aumento de concentração permitindo uma análise direta.
7. Detêm uma correlação simples entre a quantidade de contaminante contida no organismo e a concentração média de contaminante no ambiente envolvente.
8. Têm o mesmo nível de correlação de conteúdo do contaminante com o ambiente envolvente em qualquer sítio estudado e sobre qualquer condição.

2.7.1 Métodos aplicáveis

Os líquenes podem ser utilizados como biomonitores de poluição atmosférica em duas formas distintas (Conti & Cecchetti, 2001):

1. Mapeamento de todas as espécies presentes numa área específica
2. Pela colheita de amostras de espécies de líquenes e medição da resposta específica a um poluente (exemplo: poluentes que acumulam nos talos).

Estudos de gradientes podem ser realizados com líquenes *in situ* ou os líquenes podem ser transplantados de uma área não contaminada para uma contaminada, depois mede-se as alterações morfológicas nos talos dos líquenes e/ou a evolução de parâmetros fisiológicos e/ou a evolução da bioacumulação de poluentes. Esta última hipótese aplica-se somente a estudos de poluição do ar usando líquenes transplantados (Marques, 2008). Tendo isto em consideração há que se optar pelo uso de espécies nativas – líquenes *in situ* – ou espécies transplantadas (líquenes transplantados), influenciando a escolha da espécie e também as técnicas analíticas a serem aplicadas (Marques, 2008).

Nesta dissertação o foco está nos líquenes transplantados e a medição do parâmetro da condutividade elétrica.

2.8 O Líquene

2.8.1 Definição de líquene

O líquene é um organismo que resulta da simbiose de: (Nash III, 1996)

1. Um fungo chamado micobionte.
2. Uma ou mais algas e/ou cianobactéria chamada fotobionte, sendo o nome da espécie de líquene dado através da parte do fungo.

Este tipo de organismo ocorre em quase todos os ecossistemas terrestres e, por virtude da sua capacidade em tolerar largos períodos de dessecação, pode até colonizar áreas tendo condições ambientais extremas (Marques, 2008).

Aos talos dos líquenes normalmente falta-lhes sistemas radiculares e são criados durante grandes períodos de tempo, em geral, anos (Marques, 2008). Os líquenes dependem largamente de deposições atmosféricas para o seu fornecimento de energia e podem mostrar as composições dos elementos os quais, de uma forma integrada, refletem os elementos gasosos, dissolvidos ou particulados na atmosfera (Bargagli, 1998). A superfície do líquene, a estrutura e rugosidade facilita a interseção e retenção de partículas (Marques, 2008).

A capacidade de acumulação do líquene melhora com condições húmidas e podem ser classificados de acordo com o seu substrato e forma.

2.8.2 O uso de líquenes nos estudos de poluição do ar

Em 1860, em Inglaterra e na Europa os líquenes foram reconhecidos como potenciais indicadores para a poluição atmosférica (Marques, 2008). A partir desse momento, têm estado na linha da frente em estudos de poluição do ar por todo o mundo, devido à sua sensibilidade a diferentes poluentes gasosos, em particular o dióxido de enxofre (Marques, 2008).

Ao longo da história os líquenes têm sido utilizados de uma maneira qualitativa. Servindo como indicadores de poluentes a partir de observações de alterações populacionais e efeitos morfológicos (Marques, 2008). Nas últimas décadas têm sido adotadas abordagens quantitativas. Medições do conteúdo químico dos líquenes e os seus processos fisiológicos sensíveis têm servido de janela de observação e amplamente utilizados para indicar poluentes (Marques, 2008).

De entre as possíveis respostas de stress deste tipo de organismo à poluição do ar salientam-se (Marques, 2008):

- **Perda de vitalidade do líquene** (âmbito da dissertação)
- Degradação da clorofila
- Alterações nos processos fotossintéticos e respiratórios
- Alterações na fixação de azoto
- Vazamento da membrana
- Acumulação de elementos tóxicos
- E possíveis alterações na refletância espectral, cobertura do líquene, morfologia, estrutura comunitária e reprodução.

2.8.3 Sintomas de stress – resposta fisiológica

Um parâmetro principal é a vitalidade fisiológica do líquene, avaliado através da determinação da permeabilidade da membrana do organismo (Garty, Cohen *et al.*, 1998; Garty *et al.*, 2000; Garty, 2001; Garty, Weissman *et al.*, 2001).

O parâmetro da **condutividade elétrica** é referido como o parâmetro mais sensível numa resposta fisiológica ao stress do ambiente envolvente, quando comparado ao índice de vegetação por diferença normalizada (*Normalised difference vegetation index* – NDVI) (Garty, Weissman *et al.*, 2000) e degradação da clorofila, listado no ponto 2.8.2. Este parâmetro relaciona-se com o líquene como um todo e não apenas com a parte do fotobionte como acontece com outros parâmetros (Mulgrew & Williams, 2000).

3 Caso de estudo: cidade de Lisboa

3.1 Caracterização da zona de estudo

A cidade de Lisboa é a capital e maior cidade de Portugal, é a capital do distrito de Lisboa, da região de Lisboa e Vale do Tejo e da Área Metropolitana de Lisboa (Portal Nacional, 2014). Segundo registos do Instituto Nacional de Estatística o município de Lisboa tem uma população residente de 547 773 habitantes, dados relativos aos Censos de 2011. A cidade e a sua área metropolitana detêm 27% da população do país (INE, 2014).

O enfoque deste trabalho é o concelho de Lisboa que ocupa uma área de 83.84 km² (Portal Nacional, 2014). O concelho divide-se em 24 freguesias (novo mapa da cidade de Lisboa) e faz fronteira a norte com os municípios de Odivelas e Loures, a oeste com Oeiras, a noroeste com a Amadora e a sudeste com o Estuário do Tejo (Portal Nacional, 2014), como ilustrado na Figura 3.1.

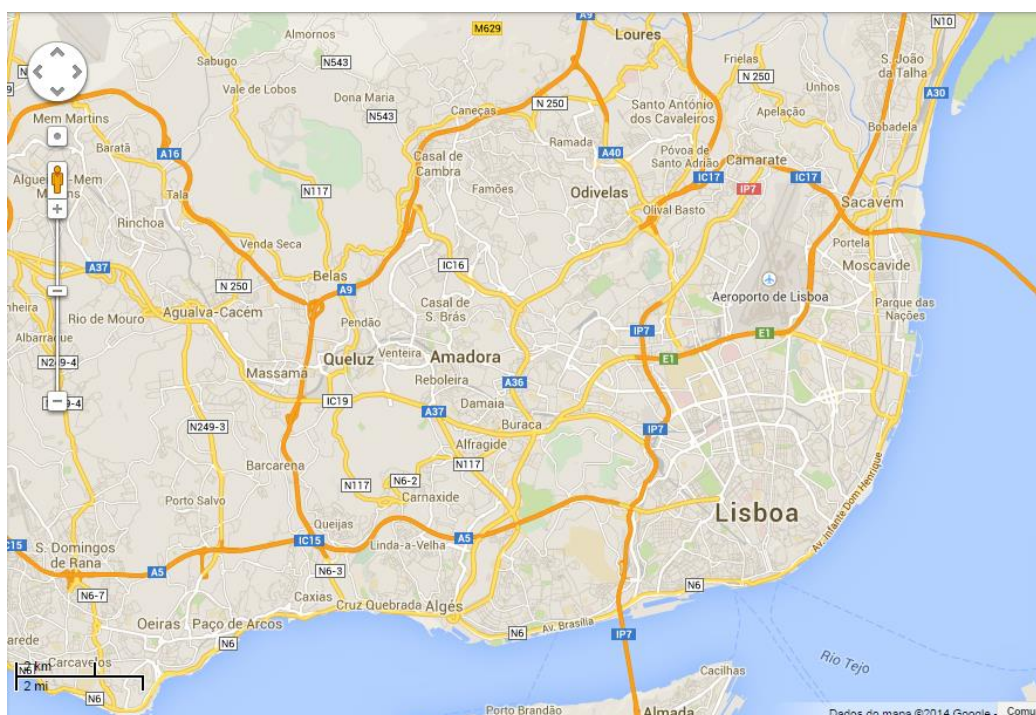


Figura 3.1 - Mapa da cidade de Lisboa e concelhos periféricos.

3.2 Mobilidade Ciclável

A **mobilidade ciclável**, a par da mobilidade pedonal, é considerada uma mobilidade suave, sendo um modo alternativo de deslocação na cidade. Considerando-se o panorama internacional relativo à exploração de combustíveis fósseis é premente a criação “de condições de integração e promoção de

meios de transporte alternativos, não poluentes” (CML, 2014). Assim, a bicicleta como meio alternativo e complemento do transporte público tem visto o seu papel a ser mais reconhecido, em percursos até seis quilómetros, considerados de curta distância (CML, 2014). A nível internacional, estudos realizados corroboram esta realidade afirmando que o modo ciclável é o mais eficiente e a opção mais competitiva nas deslocações até 4 km e, uma vez que, cerca de metade das deslocações urbanas têm menos de três quilómetros, os modos suaves representam uma alternativa real ao transporte individual motorizado nestas deslocações (de curta distância) (AML, 2014).

O uso destes modos suaves resulta assim em inúmeros benefícios no ambiente, saúde pública e urbanismo, destacando-se (AML, 2014):

- Melhoria da qualidade do ar e ambiente sonoro,
- Redução da emissão de gases com efeito de estufa pelo setor dos transportes,
- Redução da emissão de partículas,
- Redução do consumo energético,
- Menor congestionamento do tráfego,
- Redução do consumo do espaço público,
- Melhoria da saúde da população.

A Câmara Municipal de Lisboa tem um programa de redução de tráfego na cidade de Lisboa em ação, significando que a ligação da bicicleta com o transporte público poderá ter um papel fulcral na continuação desse objetivo, contribuindo também na *acalmia dos fluxos de trânsito* (CML, 2014).

3.3 Rede Municipal de Percursos e Corredores Pedonais e Cicláveis

O município de Lisboa desde o início do milénio tem vindo a desenvolver esforços para a implementação de uma rede ciclável na cidade de Lisboa, através do Protocolo estabelecido entre o Instituto Superior de Agronomia (ISA) e a Câmara Municipal (AML, 2014).

No ano 2007 foi criada a **Rede de Percursos e Corredores** que conduziu à construção de diversas pistas cicláveis, essencialmente fazendo a ligação entre os corredores verdes da cidade, o que justifica a localização da maioria das pistas em espaços verdes e/ou a fazerem a ligação entre estes espaços (ver Figura 3.2) (AML, 2014). No entanto, não chegou a ser elaborado um Plano de Mobilidade Ciclável (AML, 2014).

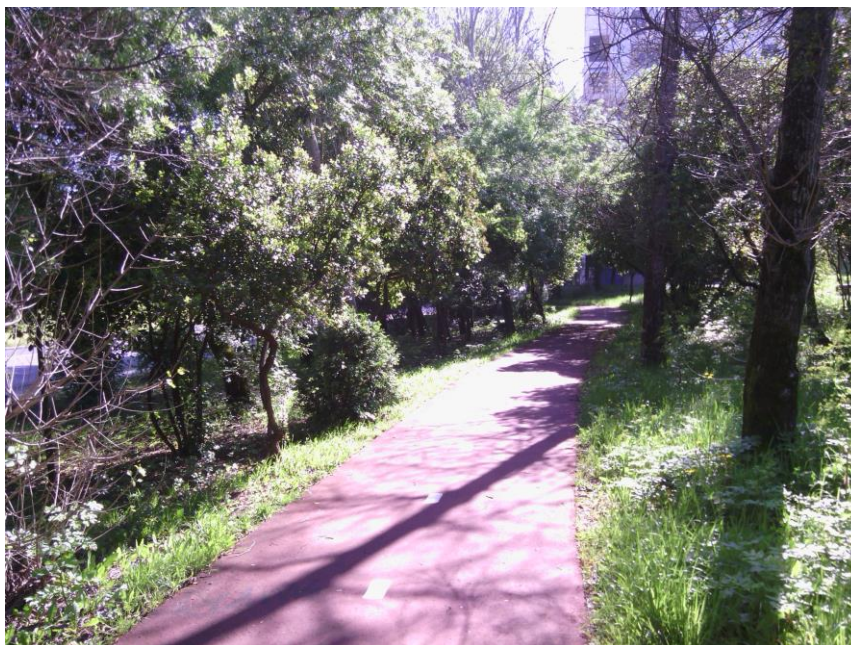


Figura 3.2 - Pista ciclável no Parque Vale do Silêncio.

Em 2008 é assinado um Protocolo entre a Câmara Municipal de Lisboa e a Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo, visando a implementação de um conjunto de medidas concretas a executar pela CML em articulação com a CCDR-LVT, com o objetivo da melhoria da qualidade do ar na cidade. Neste Protocolo, na cláusula terceira, onde são descritas as responsabilidades da CML, uma das ações que são propostas, tendo em vista a melhoria da qualidade do ar, é a “consolidação da rede ciclável, ampliando a sua extensão e assegurando continuidade dos trajetos existentes, para que os modos suaves representem uma alternativa segura e fiável de transporte para mobilidades locais.”

A partir de uma candidatura ao Programa Operacional Regional de Lisboa (POR Lisboa) criou-se o Observatório de Desenvolvimento Económico e Social da Área Metropolitana de Lisboa (ODES-AML), de modo a permitir um olhar atento e crítico sobre os aspetos a melhorar na cidade, por forma a criar um modelo de desenvolvimento integrado e coerente (AML, 2014).

O Observatório começou por incluir a dimensão social e económica e, devido à necessidade de melhorar, evoluiu para outras dimensões de desenvolvimento sustentável, em particular, ambiente e governança (AML, 2014). Integrou-se assim uma área que se denominou de Centro para a Sustentabilidade Metropolitana que criou a componente *Agenda 21 Metropolitana* (A21M) (AML, 2014).

Na Agenda 21 Metropolitana figura um Guia de boas práticas de sustentabilidade dos municípios da área metropolitana de Lisboa em que se divulgam os 98 projetos de sustentabilidade local, e em que o

projeto divulgado do concelho de Lisboa é a **Rede Municipal de Percursos e Corredores Pedonais e Cicláveis** (AML, 2014).

A Rede Municipal de Percursos e Corredores Pedonais e Cicláveis é um projeto que tem como meta facultar a cidade de Lisboa de equipamentos de apoio ao uso da bicicleta, principalmente infraestruturas para a sua circulação, e equipamentos de apoio ao estacionamento de bicicletas (GBPAML, 2013). Desta forma criando-se *uma rede ciclável contínua, de malha fechada, articulada com os transportes públicos e com o património ecológico e cultura*. (GBPAML, 2013) A rede ciclável pode ser expandida e é articulada em vários pontos com os concelhos de fronteira como Oeiras, Amadora, Odivelas e Loures (GBPAML, 2013).

A Figura 3.3 apresenta o Mapa Lisboa Ciclável onde é possível identificar todas as vias e percursos cicláveis da cidade de Lisboa quer estejam em funcionamento, em estudo, em projeto ou em obra. Nesta dissertação apenas se estudaram os percursos em funcionamento, e que serão abordados no capítulo seguinte:

- **Percorso ciclável urbano**
- **Percorso ciclável Monsanto**

Em Lisboa há quase 92 quilómetros de vias cicláveis em funcionamento, distribuídas pelos Percursos e Corredores da Cidade e pelas Pistas e Percursos do Parque Florestal de Monsanto, não se considerando os muitos mais quilómetros de vias espalhados pela cidade que estão ainda em fase de estudo, de projeto ou de obra.

A capital portuguesa, beneficiando de fundos financeiros do Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN), operacionalizado através do Programa Operacional Regional de Lisboa (POR), investiu um total de 1.5 milhões de euros, e uma participação do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) de 754 141.08€, no melhoramento de alguns troços de determinadas pistas da rede ciclável da cidade (CML, 2014): continuidade da pista ciclável Pupilos do Exército; Troço 01 – Parque Florestal de Monsanto/Parque da Quinta da Granja; Troço 02 – Quinta da Granja/Quinta de Mata Muros; Troço 12 – Entrecampos – Alvalade.

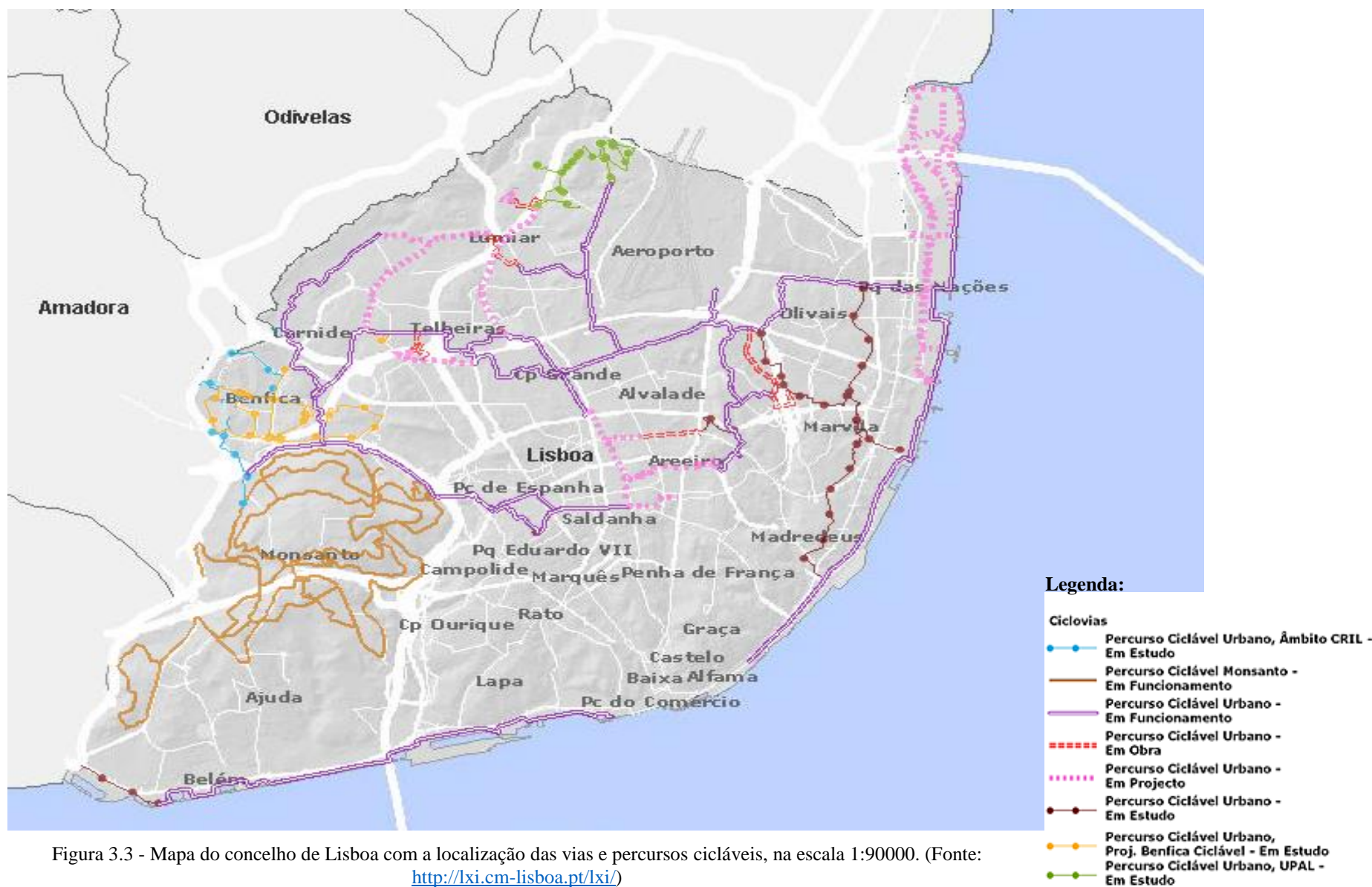


Figura 3.3 - Mapa do concelho de Lisboa com a localização das vias e percursos cicláveis, na escala 1:90000. (Fonte: <http://lxi.cm-lisboa.pt/lxi/>)

3.4 Qualidade do ar em Lisboa

Desde 2001 que a região de Lisboa e Vale do Tejo, com base em novas metodologias de avaliação da qualidade do ar, tem vindo a apresentar níveis elevados de poluição do ar em diversos locais, em particular, no concelho de Lisboa. Estes níveis encontram-se acima dos valores legais, o que põe em risco a saúde pública (CML, 2014).

Os poluentes atmosféricos como as PM_{10} e o dióxido de azoto (NO_2) são os principais causadores destes níveis acima do pretendido (CML, 2014). Estes poluentes têm, de forma recorrente, apresentado valores acima do limite legal, estabelecido pela legislação nacional e comunitária para proteção da saúde humana, em várias Estações de Monitorização da Qualidade do Ar (EQA): as estações na Avenida da Liberdade, em Entrecampos, e em Benfica, sendo a situação mais crítica verificada na EQA da Avenida da Liberdade (CML, 2014). Os piores resultados apresentados no eixo da Av. da Liberdade/Baixa originou inclusive um processo contencioso instaurado pela Comissão Europeia contra o estado Português no Tribunal de Justiça Europeu (CE, 2010).

A Comissão de Coordenação e de Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo é responsável pela monitorização da qualidade do ar em Lisboa através de medições efetuadas por Estações de Monitorização e Qualidade do Ar, e os dados são disponibilizados pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA) (CML, 2014).

Ora, como abordado na secção 2 desta tese, uma das fontes antropogénicas emissoras de partículas em suspensão é o tráfego rodoviário. Não apenas pelo tubo de escape como também pelo desgaste dos pneus, travões e estrada. Tal facto constitui uma agravante na cidade de Lisboa com o aumento significativo da mobilidade das populações e os seus movimentos pendulares, ou seja, as deslocações diárias entre o local de residência e o local de trabalho/estudo (deslocações obrigatórias) (IMTT, 2011). Este tipo de mobilidade provoca um aumento da degradação da qualidade do ar na cidade.

4 Metodologia

4.1 Processo metodológico

De modo a serem cumpridos os objetivos desta tese adotou-se a seguinte metodologia, apresentada em esquema na Figura 4.1.

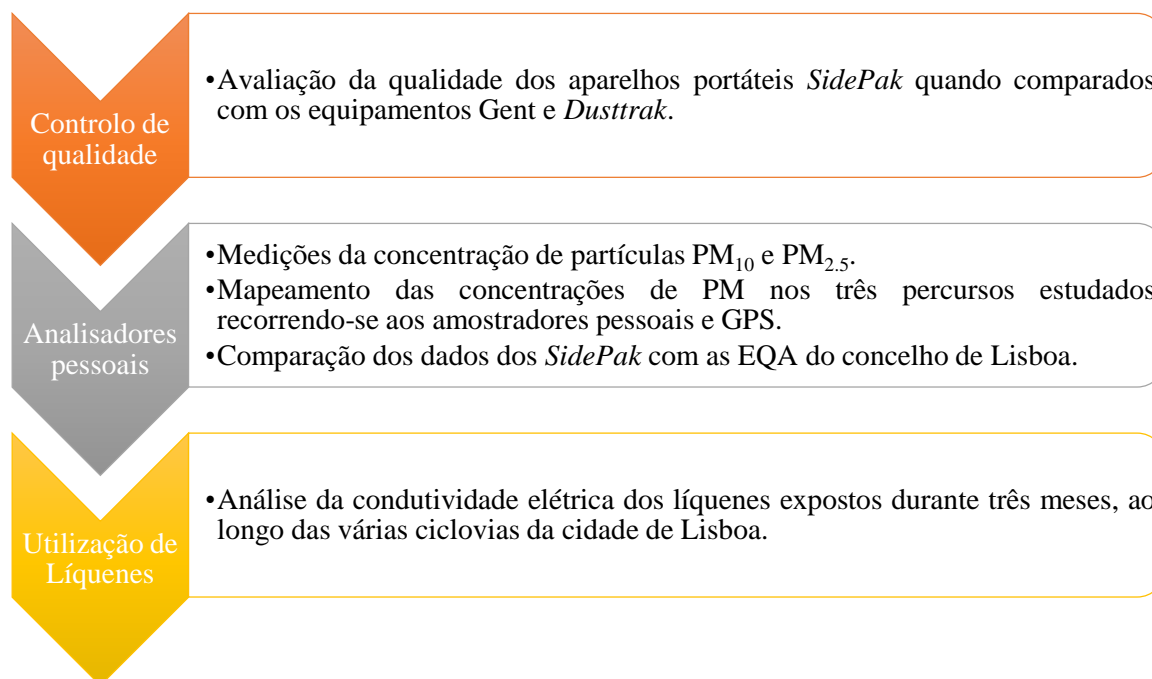


Figura 4.1 - Esquema do processo metodológico.

A parte prática da dissertação encontra-se dividida em três partes: o uso de métodos instrumentais como os analisadores pessoais; a comparação dos dados recolhidos pelos aparelhos portáteis com os níveis medidos pelas Estações de Monitorização e Qualidade do Ar, e a utilização de líquenes como biomonitorios.

4.2 Analisadores pessoais

Para a primeira parte do trabalho prático que consistiu na utilização de métodos instrumentais que permitissem avaliar a concentração das partículas atmosféricas ao longo de um percurso delineado, recorreu-se à utilização de analisadores pessoais. O aparelho utilizado, denominado *AM510 SidePak Personal Aerosol Monitor®*, possibilitou a medição de PM_{10} e $PM_{2.5}$.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa disponibilizou dois aparelhos portáteis e idênticos, residindo a única diferença na cabeça de amostragem, isto é, na entrada de ar no aparelho, onde é efetuada a separação das partículas por tamanho - um aparelho com uma cabeça de amostragem para partículas com diâmetro inferior a 2.5 µm, e outro com uma cabeça para amostragem de partículas com diâmetro inferior a 10 µm. Assim, com a utilização dos dois analisadores pessoais em simultâneo foi possível obter informação da concentração de PM₁₀ e PM_{2.5} para o mesmo percurso, no mesmo período de medição. O GPS *Garmin Edge 205* forneceu a informação geográfica a cruzar posteriormente com as concentrações obtidas.

Antes de cada campanha, o aparelho foi calibrado através de uma fonte externa de ar zero. O intervalo de medição escolhido foi de 10 segundos.

Há 26 vias cicláveis em funcionamento em Lisboa, que se estendem pela cidade numa distância de 91 647 metros.

Com o objetivo de se estudar o maior número possível de vias e percursos cicláveis delinearam-se três percursos distintos, com as características descritas na Figura 4.2, que ocupam três grandes zonas da cidade, como observável na sua representação na Figura 4.3.

Ribeirinho (R)	Cidade (C)	Monsanto (M)
<ul style="list-style-type: none"> • Pista ribeirinha - acompanha o rio Tejo. • Distância do percurso: 17.8 km. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coração da cidade - percursos a acompanhar estradas, parques e corredores verdes. • Distância do percurso: 11.8 km. 	<ul style="list-style-type: none"> • Zona florestal. • Distância do percurso: 5.6 km.

Figura 4.2 - Esquema das características de cada percurso escolhido.



Figura 4.3 - Mapa da cidade de Lisboa com os três percursos assinalados. (Legenda: linha azul – percurso Ribeirinho; linha vermelha – percurso Cidade; linha verde – percurso Monsanto)

O percurso Ribeirinho, com uma distância total de 17.8 km, desde a Torre Vasco da Gama, Parque das Nações, até à Torre de Belém, em Belém. Este percurso atravessa o Parque das Nações, a Marina de Lisboa, passa pela Rua Cintura do Porto, pelas avenidas Infante Dom Henrique, Ribeira das Naus, Brasília, Doca de Alcântara. Passando a ponte 25 de Abril, este percurso acompanha de forma paralela a Av. Brasília e a Avenida da Índia. O percurso na sua maioria é acompanhado por estrada do lado direito (ida).

O segundo percurso, o da Cidade, inicia-se na Gare do Oriente, no Parque das Nações, e termina em Benfica, antes da passagem pedonal de acesso ao Parque Florestal de Monsanto. Com uma distância total de 11.8 km, este percurso atravessa a cidade, começando na Avenida Berlim, passando pelos Parques Vale do Silêncio e dos Olivais até chegar à rotunda na Avenida Marechal Gomes da Costa. Desce em direção à rotunda do relógio, atravessando a Av. Gago Coutinho, percorre toda a Avenida Brasil até chegar ao Campo Grande. Passa pelos troços em Alvalade, Telheiras, pela Av. Colégio Militar, e o fim do percurso delineado é na Rua Conde Almostr, em Benfica. Este percurso de entre os três desenhados é aquele que engloba mais troços de rede ciclável, existindo muitas zonas com ligação entre percursos e corredores verdes.

O percurso Monsanto, feito em Monsanto, com uma distância de 5.6 km, foi escolhido de modo a cobrir uma zona singular na cidade de Lisboa. Devido às características e dimensão da área de Monsanto, esta representa assim uma zona de referência, zona zero, nas campanhas efetuadas. A rede ciclável de Monsanto tem perto de 43 quilómetros de vias e percursos mas apenas seis quilómetros são considerando rede ciclável, pertencendo os restantes aos trilhos destinados à prática de BTT.

Este percurso inicia-se na Estrada Serafina, passando pelo Parque Recreativo do Alto da Serafina, acompanha a Estrada da Bela Vista, desce a Avenida Tenente Martins e a Estrada de Outeiro e termina na Estrada de Montes Claros.

As campanhas de medições realizaram-se durante quatro meses, entre o primeiro dia de medições a 3 de maio de 2014 e o dia 16 de agosto, do mesmo ano. O procedimento adotado para os três percursos foi idêntico e o seguinte: efetuaram-se vinte voltas de medições por percurso, dez medições feitas em dias de semana, e as outras dez medições em dias de fim de semana e/ou feriado municipais e/ou nacionais. Cinco medições foram realizadas num período de tempo previamente estipulado, das 8 às 10 horas, e as outras cinco medições no período das 11 às 13 horas. No fim das campanhas contabilizou-se um total de 60 medições respeitantes aos três percursos. De salientar que as campanhas aconteceram sempre em dias com condições meteorológicas favoráveis ao uso da bicicleta, ou seja sem precipitação.

Após a realização de todas as campanhas e recolhidos os dados das concentrações das PM, cruzou-se essa informação com a localização geográfica fornecida pelo GPS, o que permitiu a elaboração de mapas

da qualidade do ar para cada percurso. Os mapas foram obtidos através de uma aplicação experimental de visualização de base de dados – *Fusion Tables* -, que permite reunir bases de dados e a sua visualização em mapa. Os mapas ilustram a concentração de PM_{10} e $PM_{2.5}$ em cada ponto ao longo de cada percurso, como apresentado na secção seguinte da dissertação.

Nota: As campanhas foram realizadas recorrendo-se exclusivamente ao uso de bicicleta e de aparelhos transportados numa mochila com furos estratégicos para a não obstrução da cabeça de amostragem.

4.2.1 Percurso Ribeirinho

As medições no percurso Ribeirinho realizaram-se entre os meses de maio a julho, intercalando-se as medições feitas durante dias de semana e dias de fim de semana (ver Figura 4.4). Como referido acima houve dois períodos de medição por dia selecionado. O primeiro período das 8:00-10:00, ponto de partida Torre Vasco da Gama (Parque das Nações) (ver Figura 4.5) e destino Torre de Belém (Belém) (ver Figura 4.6), e um segundo período correspondente à medição da vinda, com início às 11 horas na Torre de Belém. O tempo médio de cada medição no percurso Ribeirinho foi de uma hora e 25 minutos.

Semana
•5 maio
•9 maio
•16 maio
•2 julho
•30 julho
Fim de semana
•3 maio
•18 maio
•14 junho
•20 julho
•27 julho

Figura 4.4 - Datas das campanhas realizadas no percurso Ribeirinho.



Figura 4.5 - Início do percurso Ribeirinho (ida) – Torre Vasco da Gama (Parque das Nações).



Figura 4.6 - Fim do percurso Ribeirinho (ida) – Torre de Belém (Belém).

4.2.2 Percurso Cidade

Neste percurso as campanhas realizaram-se na sua maioria entre o mês de maio e agosto, excetuando uma medição realizada no último fim de semana de junho, como se ilustra na Figura 4.7.



Figura 4.7 - Datas das campanhas realizadas no percurso Cidade.

De forma análoga ao ocorrido no percurso Ribeirinho, o ponto de partida das medições foi o Parque das Nações, com a diferença do local. A medição teve início na Gare do Oriente, próximo do terminal de autocarros (ver Figura 4.8), e o destino foi a entrada pedonal para o Parque Florestal de Monsanto, em Benfica (ver Figura 4.9). Os períodos foram os mesmos: das 8:00-10:00 e das 11:00-13:00. O tempo médio de cada medição neste percurso foi de uma hora e 15 minutos.



Figura 4.8 - Início da campanha do percurso Cidade (ida) – Gare do Oriente (Parque das Nações).



Figura 4.9 - Zona de fim da medição do percurso Cidade (ida) – entrada do acesso pedonal ao Parque Florestal de Monsanto (Benfica) (fonte: <http://simplycommuting.files.wordpress.com/2009/08/vaiduto-pedonal-de-monsanto7.jpg>)

4.2.3 Percurso Monsanto

As campanhas realizadas no percurso Monsanto ocorreram no mesmo padrão que as realizadas nos percursos descritos anteriormente, divergindo apenas no local de início e fim de medição. As medições foram efetuadas nos meses de maio, junho, julho e agosto, como listado na Figura 4.10, com uma duração máxima de 26 minutos uma vez que este percurso, de entre os três escolhidos, é o de menor distância (5.6 km). Os períodos de medição tiveram início às 8 horas (ida) e às 11 horas (regresso).

Semana
<ul style="list-style-type: none">• 2 maio• 8 maio• 12 maio• 14 maio• 24 julho
Fim de semana
<ul style="list-style-type: none">• 1 maio• 10 maio• 8 junho• 5 julho• 16 agosto

Figura 4.10 -Datas das campanhas realizadas no percurso Monsanto.

As medições realizadas no percurso Monsanto iniciaram-se na Estrada Serafina (uma das entradas de Monsanto) como mostra a Figura 4.11, e terminaram no fim da Estrada de Montes Claros (ver Figura 4.12).



Figura 4.11 - Local de início das medições no percurso Monsanto (uma das entradas para Monsanto) (ida) – Estrada Serafina (Monsanto).

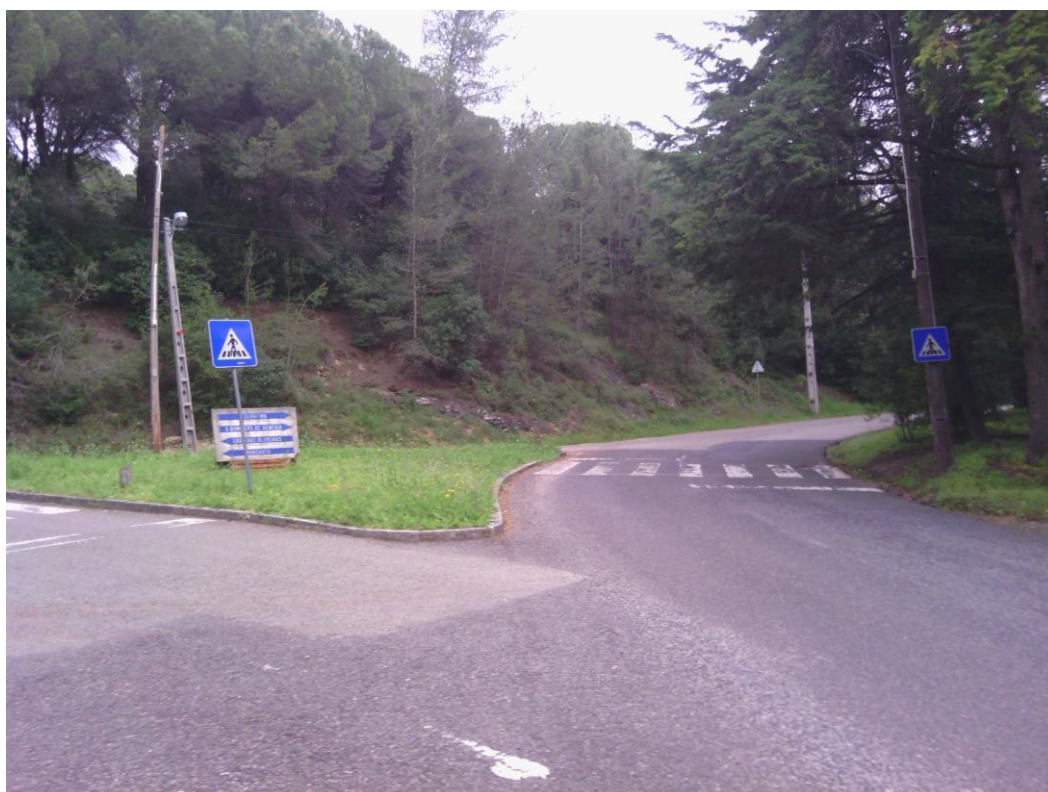


Figura 4.12 - Zona de término das medições do percurso Monsanto (ida) – Estrada de Montes Claros (Monsanto); fim do percurso ciclável em Monsanto.

4.3 Estações de Monitorização e Qualidade do Ar em Lisboa

Os dados das concentrações horárias das partículas atmosféricas em estudo foram extraídos através da base de dados *online* da qualidade do ar (*QualAR*) disponibilizada pela APA.

No âmbito da presente dissertação foram utilizados valores de concentração de PM registados por quatro estações pertencentes à rede de monitorização da qualidade do ar, localizadas no concelho de Lisboa e pertencentes à zona da AMLNorte (aglomeração). Estas estações são de duas tipologias distintas:

- Avenida da Liberdade (PM₁₀) – Urbana de tráfego
- Entrecampos (PM₁₀ e PM_{2.5}) – Urbana de tráfego
- Olivais (PM₁₀ e PM_{2.5}) – Urbana de fundo
- Restelo (PM₁₀) – Urbana de fundo

De salientar que os dados trabalhados são relativos ao ano civil de 2014, não sendo por isso ainda definitivos e podendo sofrer alterações após validação pela entidade responsável (CCDR-LVT).

A EQA da Av. da Liberdade é de tipologia urbana de tráfego o que significa que se localiza em ambiente urbano e o tipo de influência que é sujeita é do tráfego (ver Figura 4.13). Esta estação funciona desde janeiro de 1994 e está a 44 metros de altitude (CCDR-LVT, 2014).



Figura 4.13 - EQA Avenida da Liberdade (fonte: CCDR-LVT).

Na Figura 4.14 tem-se a EQA de Entrecampos, localizada na Praça de Entrecampos, a uma altitude de 86 metros, e encontra-se em funcionamento desde março de 1992 (CCDR-LVT, 2014). A estação é do

tipo urbana de tráfego e está instalada junto ao cruzamento do Eixo Campo Grande – Av. da República com o eixo Av. das Forças Armadas – Av. Estados Unidos da América (CCDR-LVT, 2014).



Figura 4.14 - EQA Entrecampos (fonte: CCDR-LVT).

A EQA dos Olivais está localizada numa zona residencial de Olivais Norte, na Escola Secundária Prof. Herculano de Carvalho, entre as Avenidas Francisco Luís Gomes e Infante D. Henrique (ver Figura 4.15), a 34 metros de altitude, com data de início de funcionamento de março de 1992 (CCDR-LVT, 2014).



Figura 4.15 - EQA Olivais (fonte: CCDR-LVT).

No Restelo a estação encontra-se no Jardim Fernanda de Castro (ver Figura 4.16), a 143 metros de altitude, numa zona residencial, ampla e ajardinada (CCDR-LVT, 2014). Esta estação funciona desde fevereiro de 2002 mas apenas desde do dia 15 de setembro de 2006 mede as PM_{10} (CCDR-LVT, 2014).



Figura 4.16 - EQA Restelo (fonte: CCDR-LVT).

4.4 Utilização de Líquenes como Biomonitoriores

A terceira vertente da parte prática da tese consistiu na utilização de líquenes como biomonitoriores.

No dia 3 de abril de 2014 foram recolhidas amostras de líquenes da espécie *Flavoparmelia caperata* (L.) em Montargil, vila portuguesa do concelho de Ponte de Sor, no distrito de Portalegre, região do Alentejo e sub-região do Alto Alentejo. A área rural onde se enquadra esta vila é uma área considerada limpa do ponto de vista da qualidade do ar (Almeida *et al.*, 2012).

Sendo um dos tipos de habitat deste ser vivo a superfície de árvores, as amostras foram extraídas das árvores de Oliveiras (ver Figura 4.17). Os líquenes foram recolhidos dos troncos e ramos deste tipo de árvore (ver Figura 4.18) com o cuidado exigido à não deterioração da amostra. A recolha das amostras foi feita numa única altura e na mesma área.



Figura 4.17 - Área com Oliveiras em Montargil onde foi feita a recolha dos líquenes.

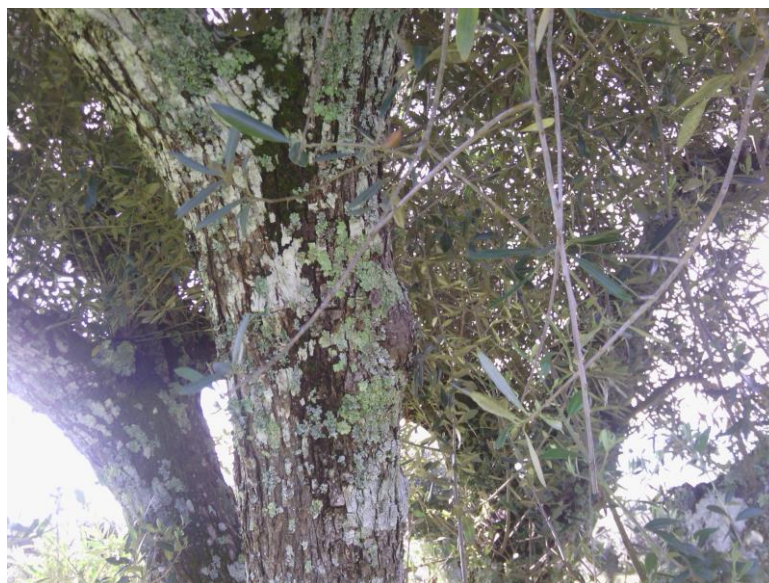


Figura 4.18 - Líquenes nas Oliveiras.

Após a recolha de cerca de 210 amostras, procedeu-se à sua preparação como mostra a Figura 4.19. A preparação aconteceu no mesmo dia da recolha, em que os líquenes recolhidos se ataram a cascas de árvore com fio de nylon (para diminuir o nível de stress da amostra e para garantir a sua estrutura). Três réplicas de amostra foram distribuídas pelas várias ciclovias da cidade de Lisboa, onde permaneceram durante um período de exposição de três meses (7 de abril a 21 de julho).



Figura 4.19 - Preparação das amostras para o período de exposição.

A distribuição dos líquenes pela cidade foi feita durante uma semana, de 7 a 11 de abril, nas ciclovias de Lisboa, em alguns locais coincidentes com o percurso escolhido para a utilização dos métodos instrumentais: no dia 7 colocaram-se os líquenes ao longo do percurso Ribeirinho; nos dias 8 e 9 nas

ciclovias do percurso Cidade e também no Jardim do Campo Grande, na Avenida Duque D'Ávila (Saldanha), na Praça de Espanha e em Campolide, no Parque da Bela Vista, no Hospital da Luz, Pontinha, Bairro Padre Cruz e Carnide; no dia 11 de abril os líquenes foram distribuídos por Monsanto.

O critério de distribuição foi a colocação das amostras com uma distância de um em um quilómetro entre si, nas diversas ciclovias em funcionamento. As amostras foram colocadas em 53 pontos, seguras com fio de nylon a uma árvore de forma a passarem despercebidas (ver Figura 4.20), e ser diminuto o risco de não estarem no local aquando a sua recolha.

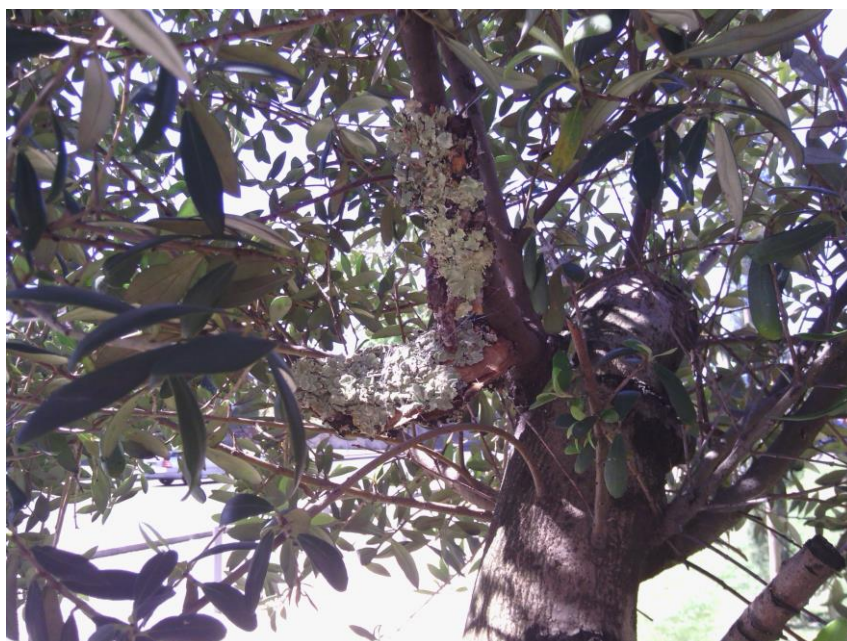


Figura 4.20 - Líquene preso com fio de nylon a árvore num dos locais de exposição do percurso Cidade (Alvalade).

No dia 21 de julho recolheram-se as amostras dos líquenes verificando-se que restavam 34 líquenes dos 53 colocados. As amostras foram encaminhadas para o Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares para tratamento laboratorial.

4.4.1 Avaliação da integridade da membrana da célula: Condutividade elétrica

Após a exposição em laboratório todas as amostras foram organizadas e limpas de material externo, como poeiras, fungos e restos de folhas, como ilustrado na Figura 4.21.



Figura 4.21 - Limpeza das amostras em laboratório após o seu período de exposição.

As amostras foram de seguida lavadas com água desmineralizada (ver Figura 4.23). No fim, o parâmetro da condutividade elétrica foi medido de modo a avaliar a vitalidade dos líquenes.



Figura 4.23 - Lavagem das amostras com água desmineralizada em laboratório.

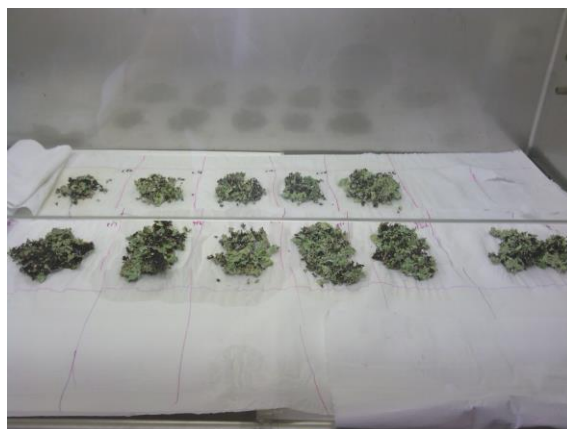


Figura 4.22 - Secagem das amostras a temperatura ambiente, durante um período de 24 horas, em laboratório.

O procedimento seguido foi baseado em abordagens desenvolvidas por Garty *et al.* (2000) e aplicado por Almeida *et al.* (2012), e contém os pontos:

1. Após secagem de 24 horas a temperatura ambiente (ver Figura 4.22), pesou-se 100 mg de amostra e colocou-se num frasco de polietileno etiquetado.

2. Adicionou-se 10 mL de água desmineralizada ao frasco com a amostra de líquene. Agitou-se para submergir toda a amostra e deixou-se em repouso durante uma hora precisamente.
3. Fizeram-se três brancos, o correspondente a frascos apenas com 10 mL de água. Deixou-se em repouso também durante uma hora.
4. Após o término do período de uma hora, verteu-se de imediato a água para os tubos de vidro, fechou-se e colocou-se no suporte. Não se deixou que nenhum pedaço de amostra entrasse no tubo.
5. Mediu-se a condutividade no condutivímetro 712 conductometer da Metrohm.
6. Aos valores da condutividade registados para as amostras descontou-se a média dos valores da condutividade dos brancos (frascos apenas com água).
7. Os valores da condutividade dos líquenes foram apresentados normalizados à massa do seguinte modo:

$$Cond. Amostra (\mu S. cm^{-1}. mg^{-1}) = \frac{Cond. Medida - Cond. Média Brancos}{Massa da amostra (mg)}$$

Através do GPS obteve-se a coordenada geográfica de cada um dos pontos amostrados, o que permitiu a construção de mapas com os valores da condutividade dos líquenes recorrendo-se à aplicação experimental *Fusion Tables* aludida anteriormente.

5 Resultados e discussão

Esta secção da tese encontra-se dividida da seguinte forma: começa-se, numa primeira abordagem, por se descrever e analisar os dados recolhidos pelos analisadores pessoais que mediram as partículas em suspensão; no ponto seguinte é feita uma análise dos resultados obtidos através do uso de biomonitores; por fim, na terceira parte, é elaborada uma comparação entre os métodos instrumentais e o papel dos líquenes neste trabalho.

5.1 Avaliação da exposição a partículas com analisadores pessoais

5.1.1 Controlo de qualidade

Os métodos instrumentais a que se recorreu para a recolha dos valores de concentrações das PM_{10} e $PM_{2.5}$ sofreram um controlo de qualidade.

Nesta parte da tese são apresentados os resultados da comparação dos equipamentos *SidePak* com outros dois equipamentos de monitorização de aerossóis: o Dusttrak™ DRX Aerosol Monitor Model 8533 e um Amostrador Gent. O primeiro faz a medição *online* e simultânea de concentrações de PM_{10} e $PM_{2.5}$ e os Amostradores Gent, recolhem simultaneamente $PM_{2.5}$ e $PM_{2.5-10}$ em filtros de polycarbonato que são analisados por gravimetria. Os amostradores pessoais SidePak™ Personal Aerosol Monitor Model AM510 fazem a amostragem de PM_{10} e $PM_{2.5}$ (são dois aparelhos idênticos, cada um a medir uma granulometria diferente de partículas).

Indica-se o tipo de procedimento adotado para este capítulo:

1. Realizou-se um período de controlo de cinco dias, com uma média de amostragem/medição de 8.2 horas por dia.
2. No caso do amostrador Gent utilizaram-se filtros diferentes para cada dia de medição. Os filtros foram colocados numa unidade de filtros em cascata que permite a separação da fração fina ($PM_{2.5}$) da fração grosseira ($PM_{2.5-10}$) do aerossol. Este equipamento funcionou com um caudal de $16.5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

A pesagem dos filtros foi efetuada com uma microbalança. A pesagem foi realizada antes e depois da amostragem o que permitiu calcular a massa de partículas recolhida pelo filtro, e em conjunto com o volume amostrado, calcularam-se as concentrações de $PM_{2.5}$ e $PM_{2.5-10}$, em $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, para cada dia de amostragem.

3. Os equipamentos *Dusttrak* e *SidePak* efetuaram a medição da concentração de partículas no mesmo período de amostragem que o amostrador Gent.
4. No fim dos cinco dias de recolha cruzaram-se os dados recolhidos e criaram-se os gráficos de comparação entre as concentrações de partículas medidas por cada tipo de equipamento de monitorização.

De referir que todos os equipamentos utilizados encontram-se calibrados.

Nas Figuras 5.1 e 5.2 apresentam-se os gráficos da relação entre os três equipamentos para cada tipo de PM.

Primeiramente dever-se-á referir que o método gravimétrico, usado no amostrador Gent, é considerado como o método de referência para a avaliação de partículas.

Comparando os resultados obtidos pelo *SidePak* e pelo Gent para as concentrações de PM₁₀ verifica-se que o *SidePak* apresenta concentrações menores, sendo a razão média *SidePak*/Gent igual a 0.61.

Verifica-se que a relação *Dusttrak versus* Gent é bastante satisfatória apresentando um R² de 0.93.

Relativamente à fração fina do aerossol verificou-se que não existe um desvio sistemático das concentrações obtidas pelo amostrador Gent e pelo *SidePak*, como se verificou no PM₁₀. A razão média entre *SidePak*/Gent foi de 1.2 e o R² foi 0.69.

Os resultados do controlo de qualidade permitiram concluir que existem desvios entre as concentrações medidas pelo *SidePak* e pelo método de referência. Esses desvios deverão ser tomados em consideração na interpretação dos resultados produzidos nesta tese. De qualquer forma, o método de referência nunca seria viável num estudo deste tipo em que se pretende efetuar medições com uma elevada resolução temporal e com um equipamento com um peso reduzido.

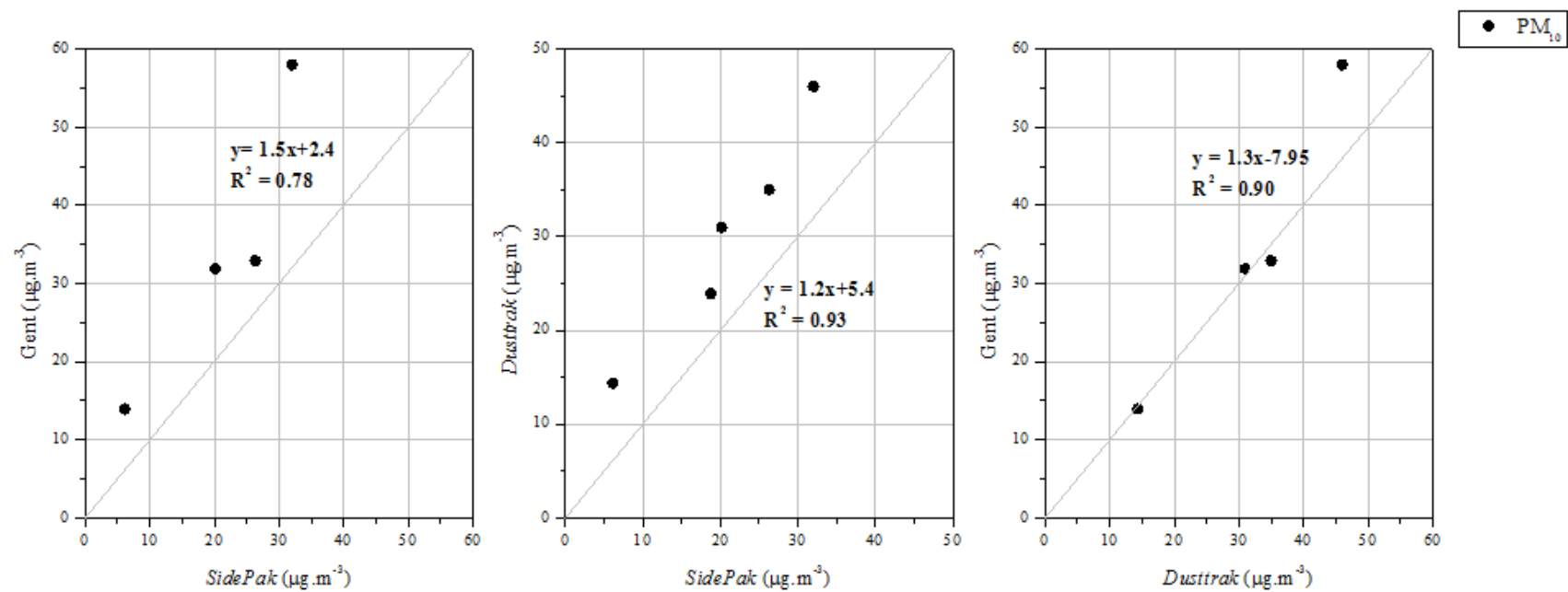


Figura 5.1 - Comparação da concentração mássica obtida através dos três equipamentos operando em simultâneo para as PM₁₀, em $\mu\text{g.m}^{-3}$.

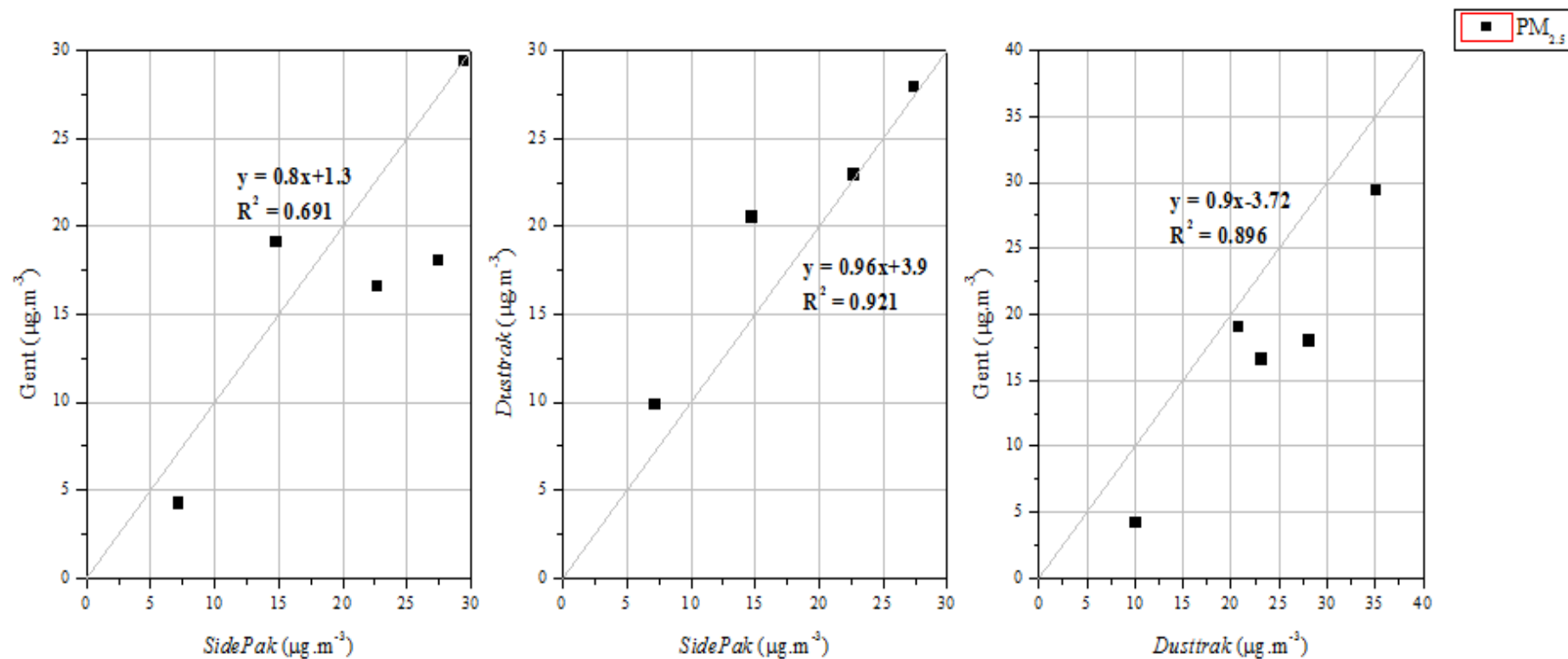


Figura 5.2 - Comparação da concentração mássica obtida através dos três equipamentos operando em simultâneo para as $PM_{2.5}$, em $\mu g \cdot m^{-3}$.

5.1.2 EQA e analisadores pessoais

Neste subcapítulo da tese o objetivo é a comparação das concentrações medidas nos equipamentos portáteis com os dados recolhidos pelas EQA do concelho de Lisboa. Como descrito no subcapítulo 4.3 vamos analisar apenas quatro estações de monitorização que registam os valores de PM: Avenida da Liberdade, Olivais, Entrecampos e Restelo. As estações de Olivais e Entrecampos medem as duas granulometrias de partículas em suspensão.

Nas Figuras 5.3 e 5.4 apresentam-se graficamente os valores das concentrações das PM₁₀ e PM_{2.5}, respetivamente, medidos nos três percursos. Como descrito na legenda, a forma indica o período da medição enquanto a cor indica a estação comparada. Cada gráfico é referente a um dos percursos realizados, e aglomera as 20 medições efetuadas, respeitantes a 10 dias diferentes de campanha.

Através da leitura dos gráficos é possível retirar algumas conclusões:

1. Existem diferenças muito significativas entre as concentrações medidas pelas EQA e pelos analisadores pessoais;
2. Os analisadores pessoais refletem a exposição do indivíduo durante o trajeto que é afetado por inúmeras fontes;
3. As estações não conseguem dar resposta à avaliação da exposição em diferentes percursos;
4. Apesar da exatidão das medições realizadas pelos analisadores pessoais não ser comparável à exatidão obtidas pelas estações de monitorização considera-se que o seu uso é essencial na avaliação da exposição pessoal a poluentes.

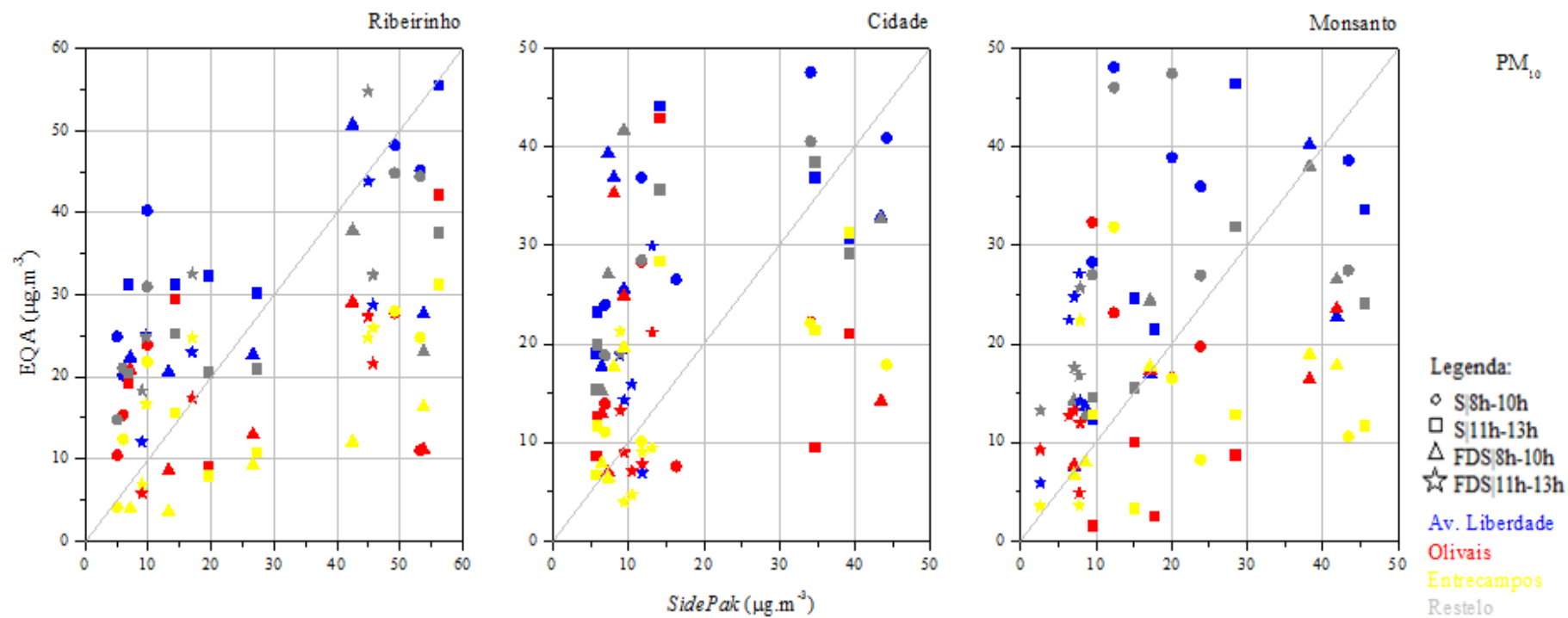


Figura 5.3 - Representação gráfica das concentrações de PM₁₀ obtidas pelos aparelhos portáteis *SidePak* em comparação com as concentrações obtidas das quatro estações de monitorização da qualidade do ar, por período de amostragem e percurso, em μg.m⁻³.

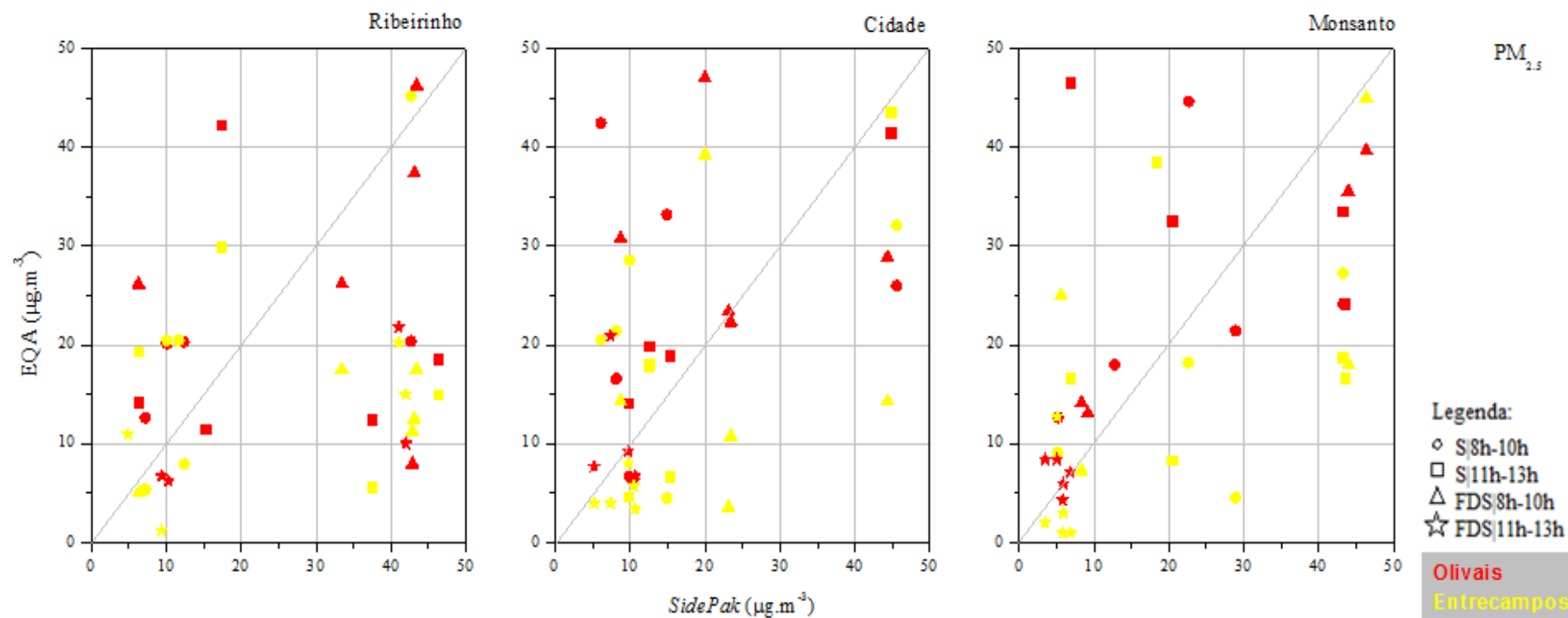


Figura 5.4 - Representação gráfica das concentrações de $PM_{2.5}$ obtidas pelos aparelhos portáteis *SidePak* em comparação com as concentrações obtidas das duas estações de monitorização da qualidade do ar, por período de amostragem e percurso, em $\mu g.m^{-3}$.

5.1.3 Exposição a partículas nos diferentes percursos

Para auxiliar uma interpretação geral dos três percursos recorreu-se ao *software OriginPro8* para a produção de gráficos. A Figura 5.5 representa na forma de gráfico de diagrama de caixa as concentrações de partículas PM₁₀ nos três percursos.

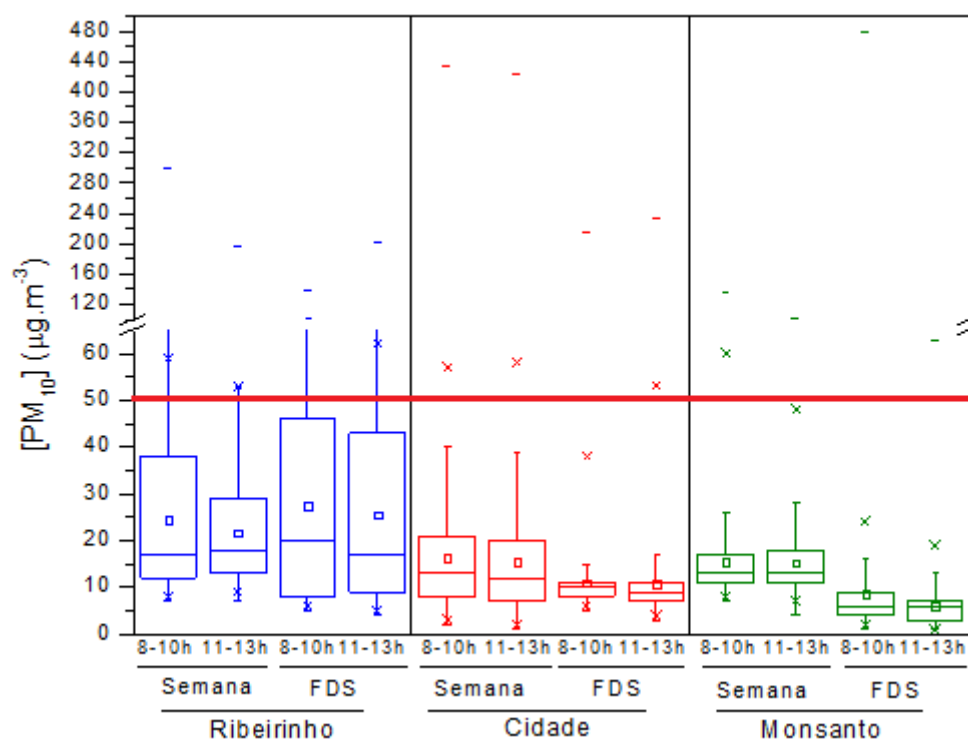


Figura 5.5 - Diagrama de caixa dos níveis de concentrações de partículas inaláveis (PM₁₀) para os três percursos em estudo, em µg.m⁻³. (**Legenda:** FDS – Fim de semana; **Linha vermelha** – Valor limite diário)

Apesar das concentrações medidas em qualquer um dos percursos estarem abaixo do valor limite diário legislado para as PM₁₀ de 50 µg.m⁻³ não se pode efetuar qualquer tipo de avaliação da conformidade legal recorrendo aos dados obtidos, uma vez que os dados trabalhados dizem respeito a apenas 30 dias de medições durante o ano de 2014 e, como mencionado no subcapítulo 2.5, por DL, o valor limite pode ser excedido até 35 vezes durante um ano civil com uma margem de tolerância de 50%.

O diagrama de caixa suporta, neste contexto, uma leitura paralela do comportamento das partículas atmosféricas PM₁₀ nos diferentes percursos, destacando-se as seguintes observações:

- O percurso Ribeirinho regista, de entre os três percursos, a média das concentrações de PM₁₀ mais elevada, em dias de semana e em fim de semana, tanto no período das 8:00-10:00 (24.5

$\mu\text{g.m}^{-3}$ e $27.4 \mu\text{g.m}^{-3}$, respetivamente), como no período das 11:00-13:00 ($21.6 \mu\text{g.m}^{-3}$ e $25.6 \mu\text{g.m}^{-3}$, respetivamente).

- O teste de Mann-Whitney aplicado aos dados obtidos provou existir diferenças significativas no percurso Ribeirinho, tanto nos dias de semana como nos dias de fim de semana, entre os dois períodos horários ($p = 0.004$ e $p = 0.009$, respetivamente). Os valores obtidos no período entre as 08:00 e as 10:00 foram superiores muito provavelmente devido ao maior fluxo de tráfego automóvel.
- O teste de Mann-Whitney mostrou que no percurso Ribeirinho as concentrações medidas durante a semana e fim de semana para os mesmos períodos horários não são significativamente diferentes ($p = 0.06$ para o período das 8:00-10:00 e $p = 0.73$ para o período das 11:00-13:00).
- No percurso Monsanto, nos dois períodos horários e nas duas tipologias de dias registaram-se as concentrações médias mais baixas. Este facto era expectável pelo carácter florestal do percurso.
- Na Cidade registaram-se as concentrações máximas de $434 \mu\text{g.m}^{-3}$ e $422 \mu\text{g.m}^{-3}$ em locais muito específicos. No entanto, verificou-se que a exposição ao longo deste percurso foi menor do que o percurso Ribeirinho, muito provavelmente porque este percurso atravessa jardins e parques urbanos.

Debrucemo-nos agora sobre os resultados obtidos das medições para as partículas finas. A Figura 5.6 ilustra o comportamento das $\text{PM}_{2.5}$, nos três percursos estudados, na forma de diagrama de caixas.

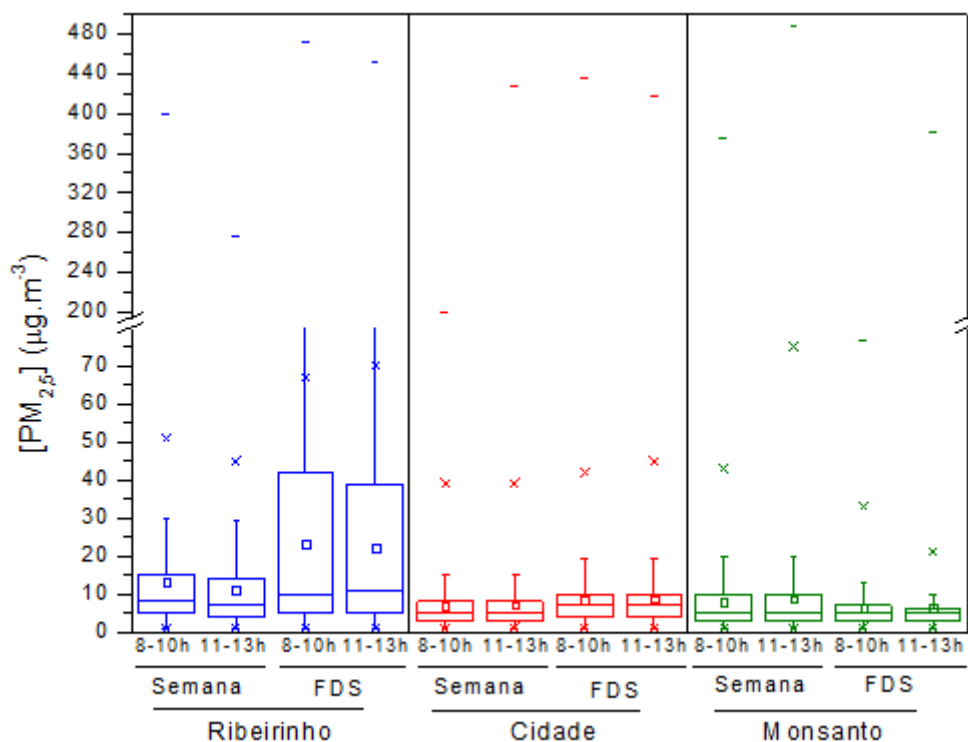


Figura 5.6 - Diagrama de caixa dos níveis de concentrações de partículas inaláveis (PM_{2.5}) para os três percursos em estudo, em $\mu\text{g.m}^{-3}$. (**Legenda:** FDS – Fim de semana)

Destacam-se os seguintes aspetos:

- O percurso Ribeirinho regista, de entre os três percursos, a média das concentrações de PM_{2.5} mais elevada, em dias de semana e em fim de semana, tanto no período das 8:00-10:00 (13.1 $\mu\text{g.m}^{-3}$ e 23.2 $\mu\text{g.m}^{-3}$, respetivamente), como no período das 11:00-13:00 (11.0 $\mu\text{g.m}^{-3}$ e 22.0 $\mu\text{g.m}^{-3}$, respetivamente).
- No percurso Ribeirinho observam-se concentrações significativamente mais elevadas no período de fins de semana do que em dias de semana para ambos os períodos horários. Uma possível explicação será o facto desta zona ser muito utilizada para o lazer e turismo e à circulação livre de veículos antigos em parte desta zona da cidade limitada aos dias de fim de semana. Este tópico será abordado com mais detalhe no subcapítulo 5.1.4.
- O teste de Mann-Whitney aplicado aos dados obtidos provou existir diferenças significativas no percurso Ribeirinho, tanto nos dias de semana como nos dias de fim de semana, entre os dois períodos horários ($p = 0.000$ e $p = 0.000$, respetivamente). Os valores obtidos no período entre as 08:00 e as 10:00 foram superiores.
- A média de concentrações de PM_{2.5} obtida na Cidade e em Monsanto nas duas séries de dias e nos dois períodos horários encontra-se abaixo de 9 $\mu\text{g.m}^{-3}$.

- No fim de semana, o percurso Monsanto assinala a concentração média de $PM_{2.5}$ mais baixa entre a série de dias estudados e nos diversos períodos horários para os três percursos, com um valor de $6.2 \mu g.m^{-3}$. No entanto, Monsanto nos dias de semana no período das 8:00-10:00 apresenta concentrações significativamente mais elevadas do que na cidade ($6.7 \mu g.m^{-3}$ e $8.0 \mu g.m^{-3}$, respetivamente).

Há que ressaltar a altura sazonal em que foram conduzidas as campanhas. A alta temperatura, alta humidade e ventos fracos sentidos nos dias de medições afetam a dispersão dos poluentes, originando uma má qualidade do ar (Rojas, 2013). Enfatiza-se aqui a relação direta entre a qualidade do ar e as condições meteorológicas.

5.1.4 Mapeamento das concentrações de partículas

A partir da utilização de analisadores pessoais e de carácter portátil foi possível realizar campanhas de medição das concentrações de partículas em suspensão nas várias ciclovias da cidade de Lisboa. Com base no cruzamento entre os dados obtidos pelos aparelhos e a posição geográfica do local criaram-se oito mapas para cada percurso: quatro representativos do comportamento das PM_{10} e os restantes das $PM_{2.5}$. Cada um dos quatro mapas engloba o comportamento das cinco medições realizadas, para cada tipo de dia e período horário. De modo a simplificar a leitura dos diversos mapas estes serão analisados individualmente.

• *Percurso Ribeirinho*

Começamos por analisar os níveis de concentrações das PM_{10} .

A Figura 5.7 representa as concentrações médias de partículas inaláveis medidas em dias de semana e no período das 8 às 10 horas da manhã.

Tendo as medições ocorrido no período de tempo considerado hora de ponta era expectável a medição de níveis elevados de PM_{10} . Visto o tráfego rodoviário ser uma das fontes emissoras de partículas, são os troços do percurso que acompanham a estrada, aqueles que assinalam os maiores níveis de concentrações.

A partir da Expocar (Parque das Nações) e até se chegar ao Cais do Sodré os valores das PM_{10} encontram-se no intervalo entre 40 e $50 \mu g.m^{-3}$. Após este local e até se chegar ao destino (Torre de Belém) e fim do percurso, nota-se uma ligeira melhoria nos valores das concentrações, diminuindo para o intervalo entre 31 e $40 \mu g.m^{-3}$, nos troços em que a ciclovia acompanha mais o rio (lado esquerdo). Na

situação contrária quando a ciclovia se encontra mais à direita e mais próxima de grandes artérias da cidade de Lisboa verifica-se uma subida das concentrações de partículas. Exemplo desse comportamento é a Av. Infante D. Henrique, via classificada como via de nível superior que integra a Rede de Distribuição Principal (2.º nível), e responsável pela maioria dos fluxos de atravessamento entre a Baixa e a Zona Oriental de Lisboa (CML, 2008). Na via marginal exterior, correspondente a esta avenida, localizam-se as atividades portuárias e industriais articuladas com o tráfego marítimo e ao movimento ferroviário da Estação de Sta. Apolónia (CML, 2008). Posto isto, é essencial analisar a atividade industrial, outro tipo de fonte emissora deste tipo de partículas (PM_{10}). Este tipo de atividade teve a sua influência nos níveis de concentrações obtidos no percurso Ribeirinho uma vez que, no sentido Belém, no lado esquerdo da via ciclável, operam fábricas de material de construção, que libertam partículas.

Alguns dias de campanhas coincidiram com as obras levadas a cabo na Avenida Ribeira das Naus que, apesar de na altura se encontrar cortada ao trânsito, há que considerar a influência do trabalho de obras como a movimentação de camiões de areias, uma possível justificação dos valores obtidos.

Estudemos o período seguinte: as medições realizadas das 11:00-13:00, visíveis na Figura 5.8, já correspondem à chamada hora de vazio no qual foram registadas concentrações de PM_{10} significativamente mais reduzidas do que no período 8:00-10:00 provavelmente por existir um menor fluxo de tráfego nas grandes avenidas.

Desde a Torre Vasco da Gama até à Expocar as concentrações de PM_{10} não ultrapassam a concentração $31 \mu g.m^{-3}$ tornando-se o oposto do ocorrido no período anterior. O mesmo comportamento se observa na Av. Infante D. Henrique, até se chegar à estação de comboios em Santa Apolónia. Das Docas até ao Jardim da Torre de Belém as concentrações de PM_{10} são sempre superiores a $31 \mu g.m^{-3}$. O cenário de maiores concentrações de PM_{10} após a ponte 25 de Abril observado no período horário 11:00-13:00 constitui um comportamento inverso em relação ao período anterior. Uma possível explicação poderá ser o facto desta zona se tratar de um local turístico e de recreio com movimento de autocarros e com espaço para a prática de exercício físico e, portanto, muito frequentada por desportistas amadores. Assim sendo, neste período horário aumenta a concentração de PM_{10} devida às fontes associadas ao turismo e recreio e diminui a concentração associada aos movimentos pendulares.

Nas Figuras 5.9 e 5.10 apresentam-se os mapas das medições das concentrações de PM_{10} em dias de fim de semana, nos dois períodos horários, das 8:00-10:00 e das 11:00-13:00, respetivamente.

Apesar dos mapas espelharem concentrações de PM_{10} inferiores para as medições realizadas nos fins de semana, o teste de Mann-Whitney mostrou que as concentrações não são significativamente diferentes

entre semana e fim de semana para o mesmo período horário. Verifica-se que as concentrações mais elevadas de PM_{10} no período 8:00-10:00 foram registadas na zona do Terreiro do Paço.

O percurso Ribeirinho revela-se um percurso que alcança níveis muito elevados de concentrações de PM_{10} . A topografia da cidade tem o seu efeito na concentração de poluentes atmosféricos e, à medida que o percurso se aproxima da Baixa da cidade, o escoamento de ar à superfície começa a ser insuficiente na dispersão das partículas emitidas pelo tráfego.

A sazonalidade tem neste percurso influência visto a altura das medições coincidir com período de férias. Tratando-se de um percurso com vários pontos turísticos onde fazem parte estabelecimentos de restauração, atrações turísticas, museus e terminais de cruzeiros, existe uma grande afluência de pessoas e aumento de tráfego.

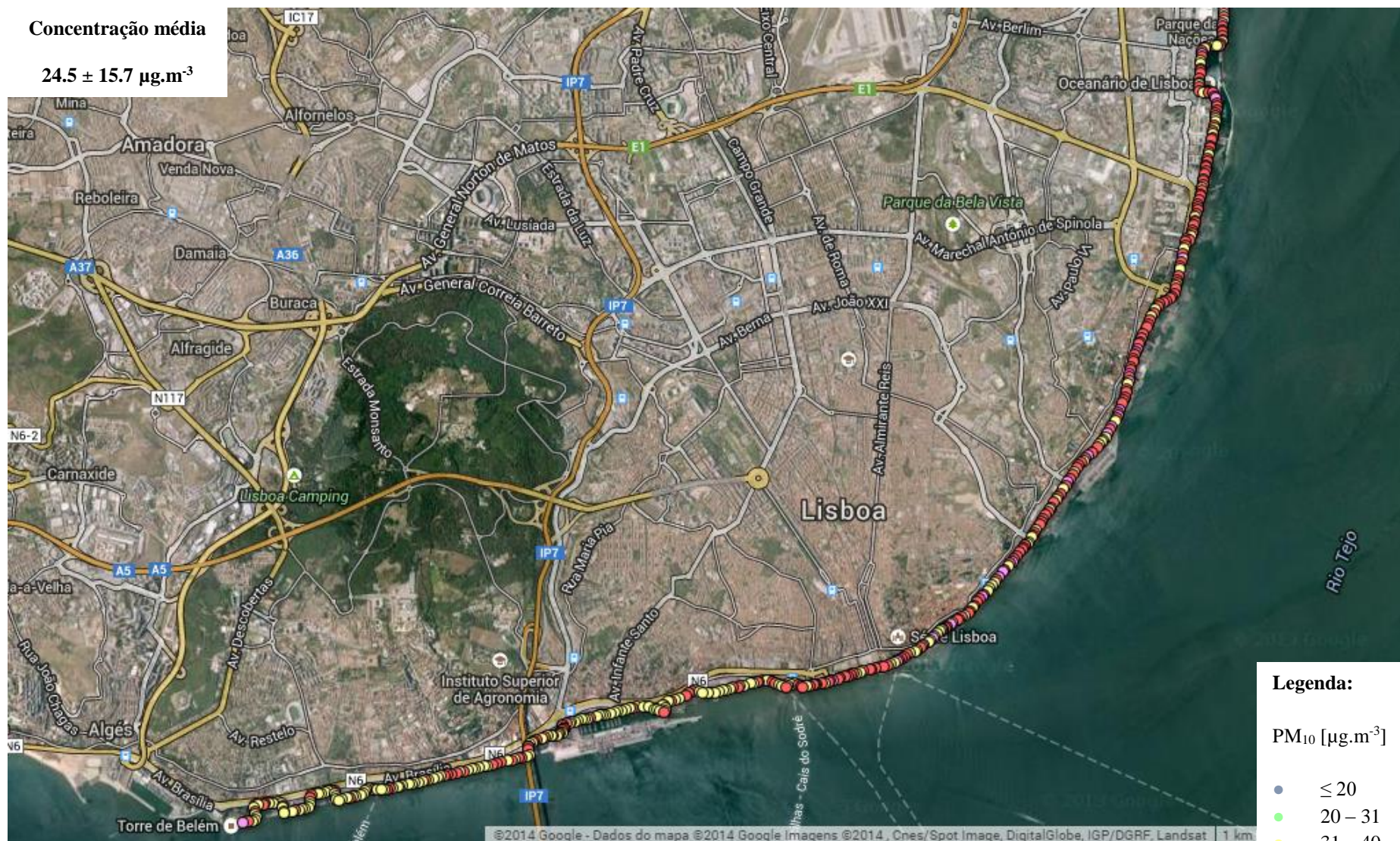


Figura 5.7 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM₁₀) no percurso Ribeirinho, em dias de semana, no período das 8:00-10:00, em $\mu\text{g.m}^{-3}$.



Figura 5.8 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM₁₀) no percurso Ribeirinho, em dias de semana, no período das 11:00-13:00, em $\mu\text{g.m}^{-3}$.



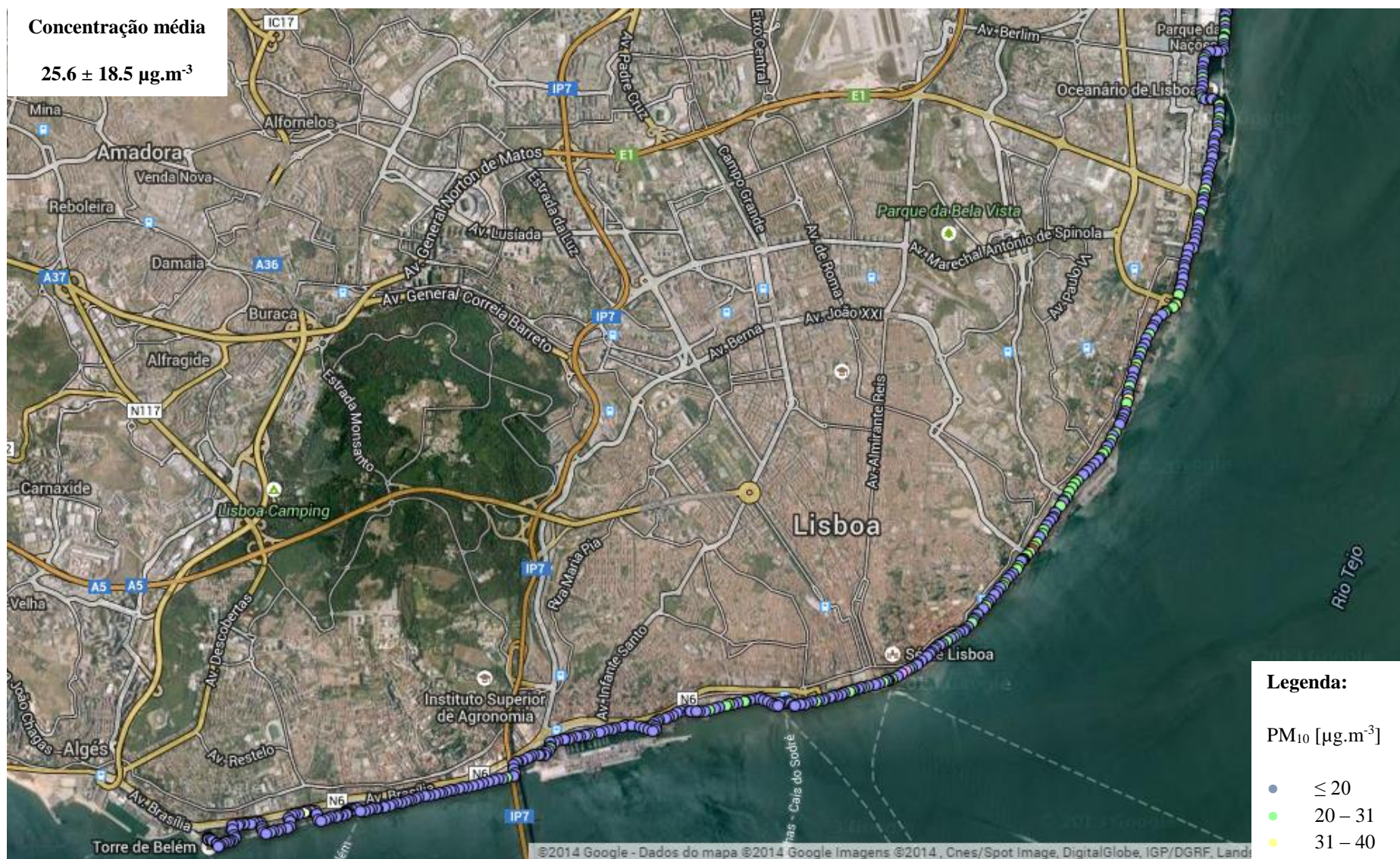


Figura 5.10 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM_{10}) no percurso Ribeirinho, em dias de fim de semana, no período das 11:00-13:00, em $\mu\text{g.m}^{-3}$.

Analisemos agora as concentrações PM_{2.5}.

Nas Figuras 5.11 e 5.12 é observável um comportamento semelhante entre os dois mapas. No caso das PM_{2.5} existe uma componente de partículas secundárias maior o que faz com que o efeito da fonte não seja imediato. Por exemplo, a emissão de óxidos de azoto pelos veículos poderá dar origem a partículas com nitrato com um desfasamento temporal.

Também no fim de semana se verifica um comportamento idêntico entre os mapas referentes ao período das 8:00-10:00 e ao período das 11:00-13:00 (Figura 5.13 e Figura 5.14).

Nos dois mapas os valores médios das concentrações encontram-se acima dos 22 $\mu\text{g.m}^{-3}$ valor superior ao medido na mesma ciclovía durante os dias de semana.

Uma explicação provável para os elevados valores de concentrações médias registados nas Figuras 5.13 e 5.14, que dizem respeito a medições realizadas em dias de fim de semana e/ou feriados municipais/nacionais, poderá ser a não restrição da circulação de veículos fabricados muito antigos na ZER na cidade de Lisboa. Como explicado no capítulo “Estado da arte” os automóveis fabricados antes de 1992, sem catalisador, podem circular na Baixa fora do período de funcionamento da ZER.

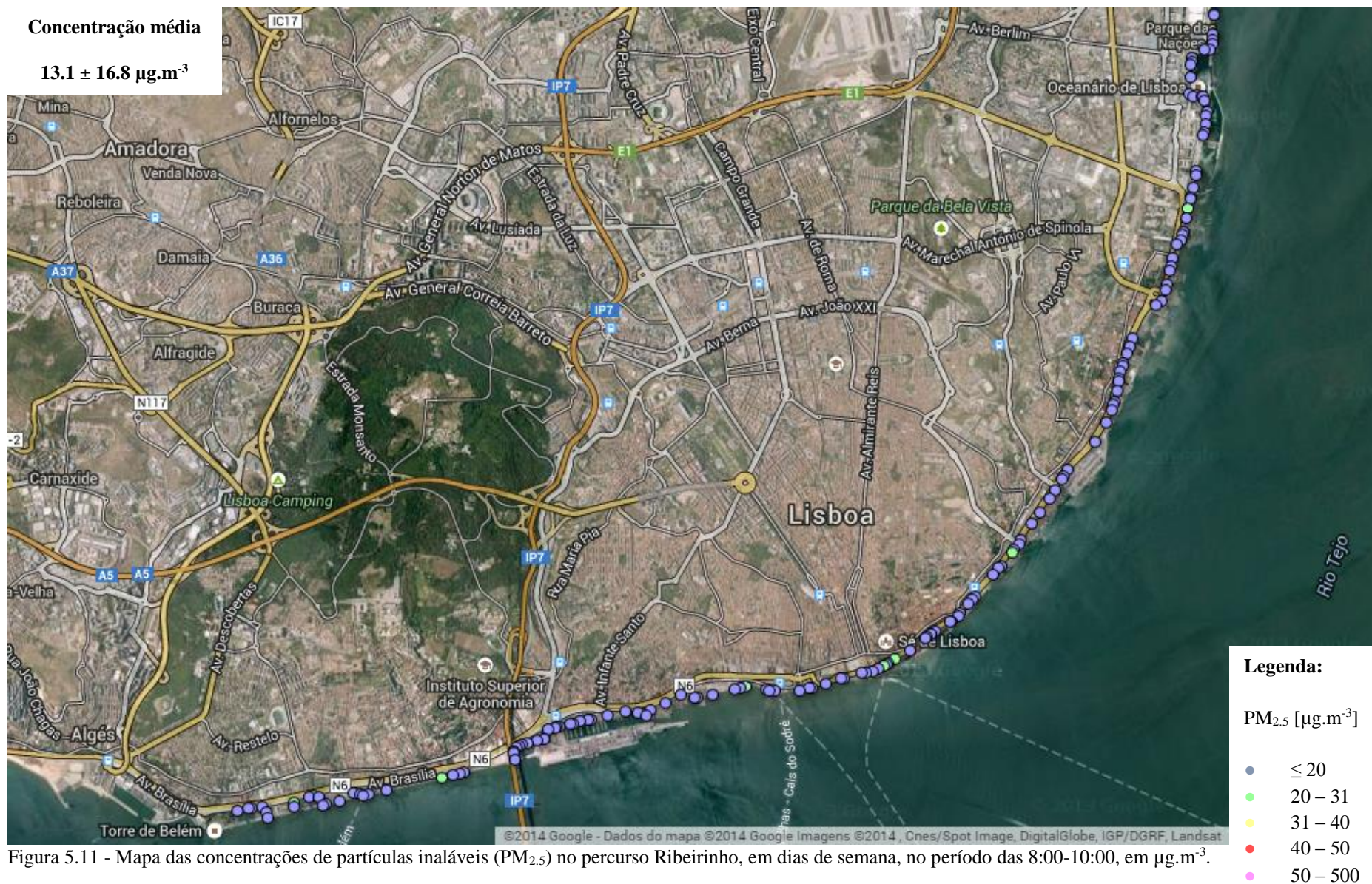


Figura 5.11 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM_{2.5}) no percurso Ribeirinho, em dias de semana, no período das 8:00-10:00, em $\mu\text{g.m}^{-3}$.

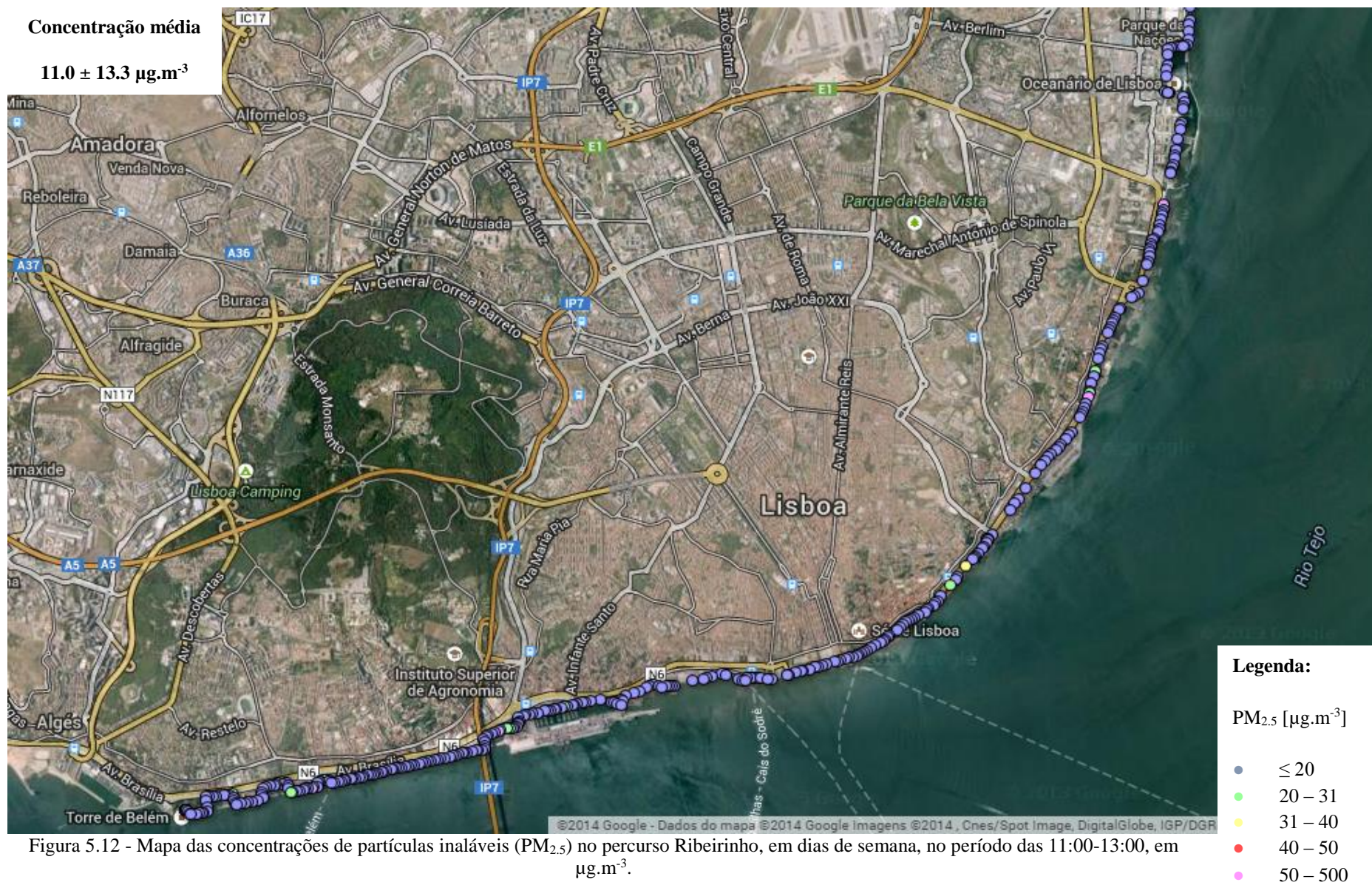




Figura 5.13 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM_{2.5}) no percurso Ribeirinho, em dias de fim de semana, no período das 8:00-10:00, em $\mu\text{g.m}^{-3}$.

Concentração média

$22.0 \pm 22.7 \mu\text{g.m}^{-3}$

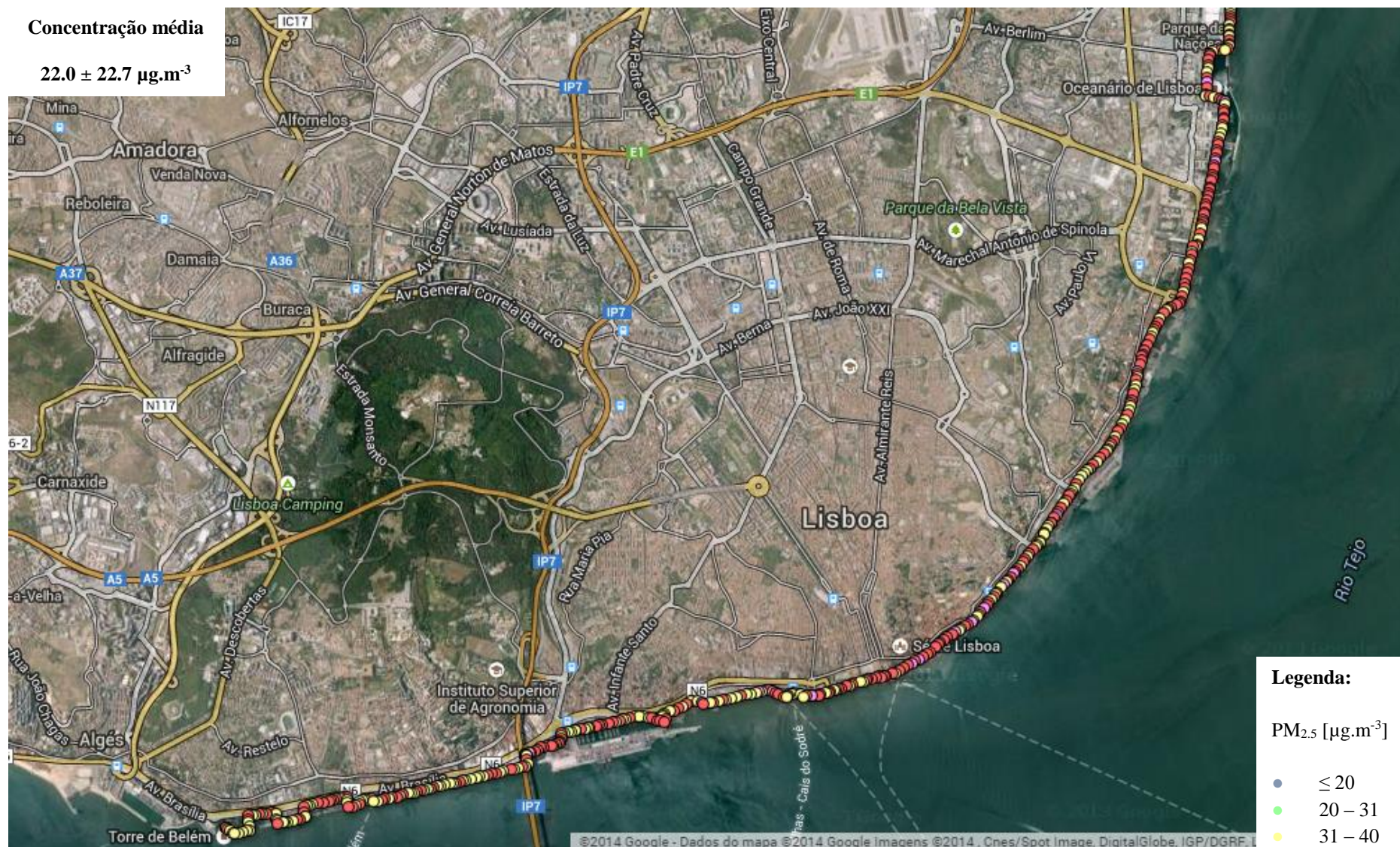


Figura 5.14 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis ($\text{PM}_{2.5}$) no percurso Ribeirinho, em dias de fim de semana, no período das 11:00-13:00, em $\mu\text{g.m}^{-3}$.

- *Percurso Cidade*

Como referido no subcapítulo 4.2.2, o início do percurso Cidade foi na Gare do Oriente. Os aparelhos começaram a medir na proximidade do terminal de autocarros. Este facto pode estar na base das elevadas concentrações nesse ponto.

Analisando primeiramente os níveis de concentrações das partículas PM₁₀ neste percurso.

Na Figura 5.15 apresentam-se os níveis das concentrações de PM₁₀ medidas durante dias de semana, no período das 8:00-10:00. Constatou-se que 95% dos valores não ultrapassam os 31 $\mu\text{g.m}^{-3}$ sendo a concentração média 16.2 $\mu\text{g.m}^{-3}$. Os valores máximos registaram-se na proximidade do terminal de autocarros na Estação Lisboa-Oriente, na Av. Gago Coutinho (perto da rotunda do relógio) e na Avenida Brasil - locais diretamente afetados pelo tráfego.

Ao contrário do observado no percurso Ribeirinho, este percurso apresenta, em termos gerais, valores mais baixos. A rede ciclável que atravessa o coração da cidade tem a grande maioria dos seus troços em parques e jardins, fazendo a ligação entre corredores verdes e percursos pedonais. A parte do percurso entre o Campo Grande e Telheiras é maioritariamente feita em zonas residenciais e com pouco tráfego advindo as menores concentrações de partículas, bem como a inexistência de atividades industriais ao longo do percurso.

Na Figura 5.16 tem-se as medições realizadas no período das 11:00-13:00, em dias de semana, com concentrações médias de 15.3 $\mu\text{g.m}^{-3}$. Relacionando-se com o mapa da Figura 5.15 verifica-se que as concentrações de PM₁₀ são significativamente inferiores no período 11:00-13:00. A hora de ponta é um dos responsáveis pelos maiores valores registados no período das 8:00-10:00, enquanto no segundo período já não existe tanto fluxo de tráfego, e os próprios transportes públicos já são em menor número e de ocorrência mais espaçada.

Nas Figuras 5.17 e 5.18, correspondentes a fins de semana, onde as concentrações de PM₁₀ foram significativamente inferiores relativamente aos dias de semana. Em dias de fim de semana existe menos movimento na cidade e menos transportes públicos.

A distância que existe entre a ciclovia e a estrada também deve ser tida em consideração na análise destes dados. Enquanto que no percurso Ribeirinho a maior parte da rede ciclável não tinha qualquer distância da rede viária, sendo a via ciclável ao lado da faixa de rodagem, não se verifica o mesmo no percurso Cidade. Neste percurso existe um afastamento proporcionado pela presença de passeios/calçada/caminho para peões na maior parte dos troços percorridos, entre a via ciclável e a estrada.

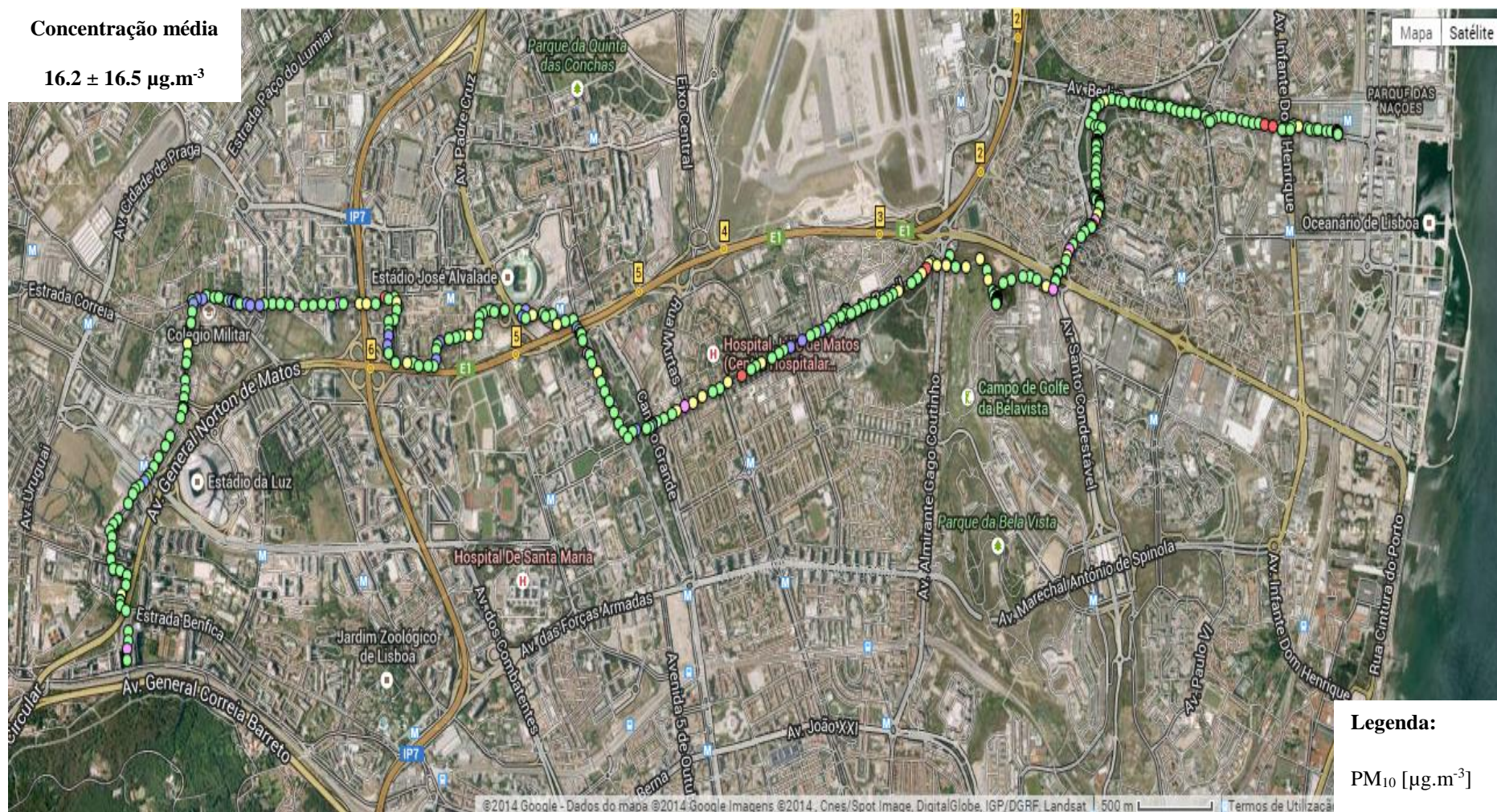


Figura 5.15 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM₁₀) no percurso Cidade, em dias de semana, no período das 8:00-10:00, em $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Concentração média

$15.3 \pm 17.8 \mu\text{g.m}^{-3}$

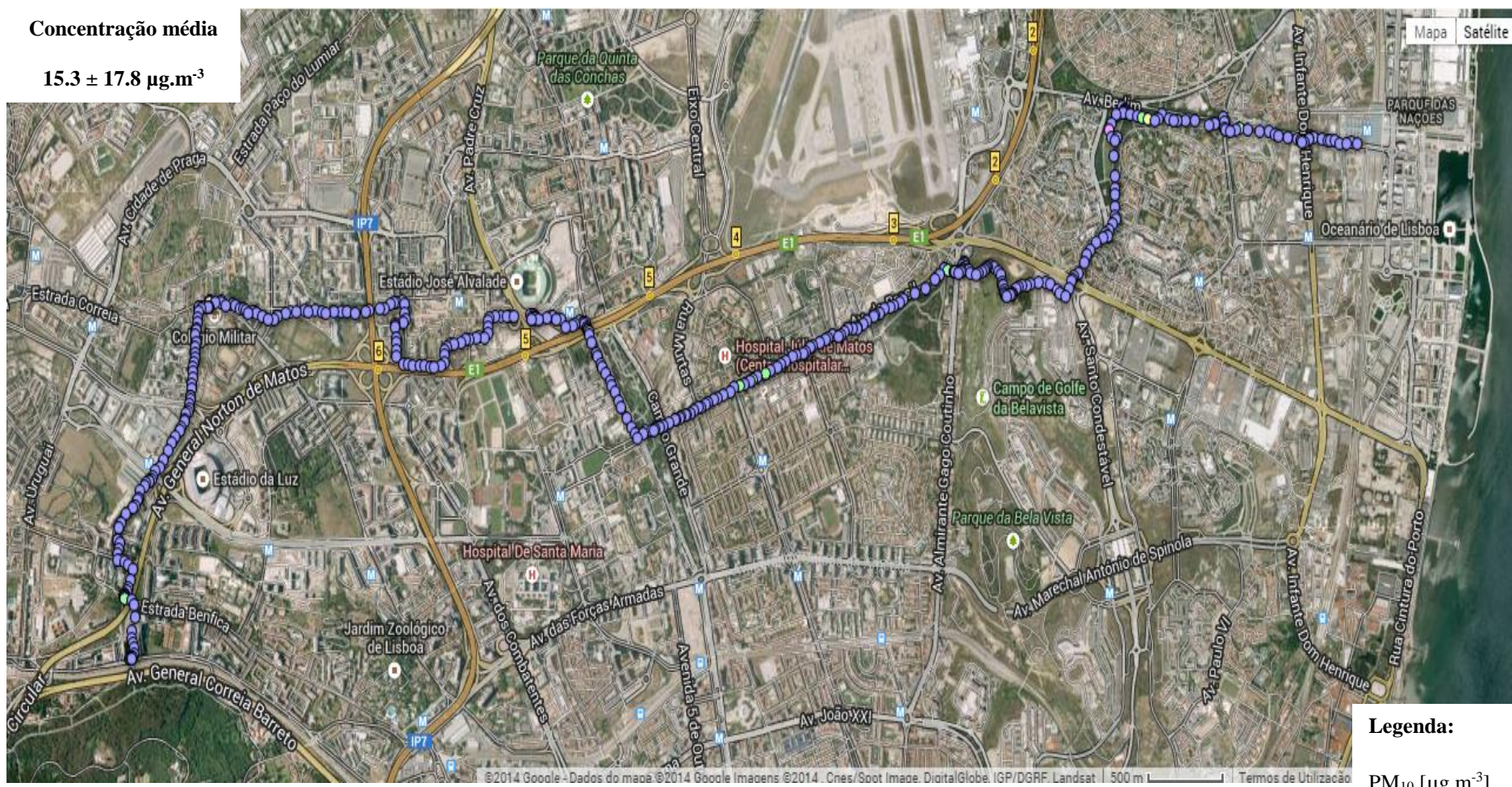


Figura 5.16 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM₁₀) no percurso Cidade, em dias de semana, no período das 11:00-13:00, em $\mu\text{g.m}^{-3}$.

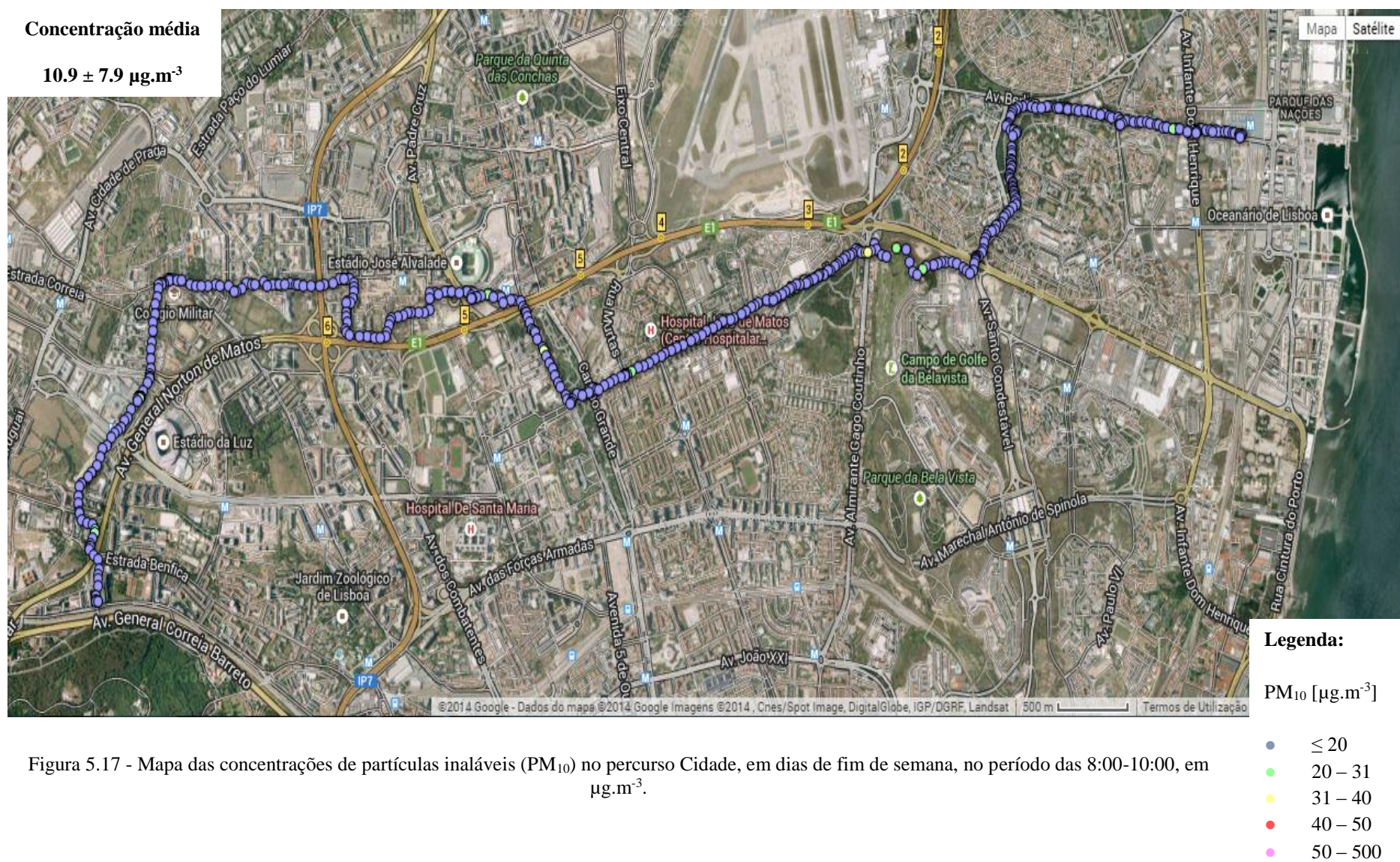


Figura 5.17 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM_{10}) no percurso Cidade, em dias de fim de semana, no período das 8:00-10:00, em $\mu\text{g.m}^{-3}$.

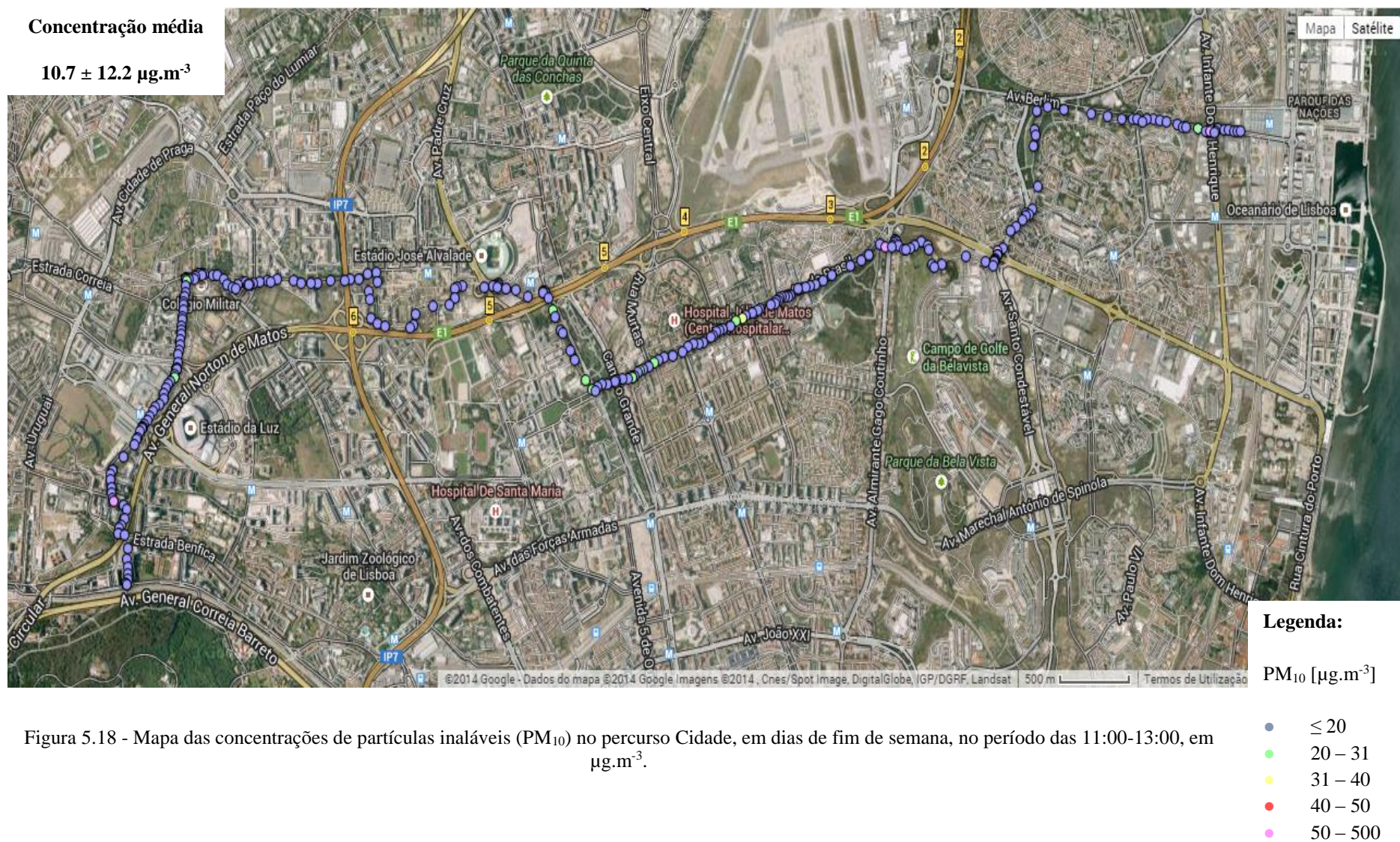


Figura 5.18 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM_{10}) no percurso Cidade, em dias de fim de semana, no período das 11:00-13:00, em $\mu\text{g.m}^{-3}$.

Relativamente às concentrações PM_{2.5}.

As Figuras 5.19, 5.20, 5.21 e 5.22 apresentam o mapeamento das concentrações de PM_{2.5} para o percurso Cidade onde se verificaram concentrações médias de 6.7, 7.2, 8.5 e 8.8 $\mu\text{g.m}^{-3}$, respetivamente.

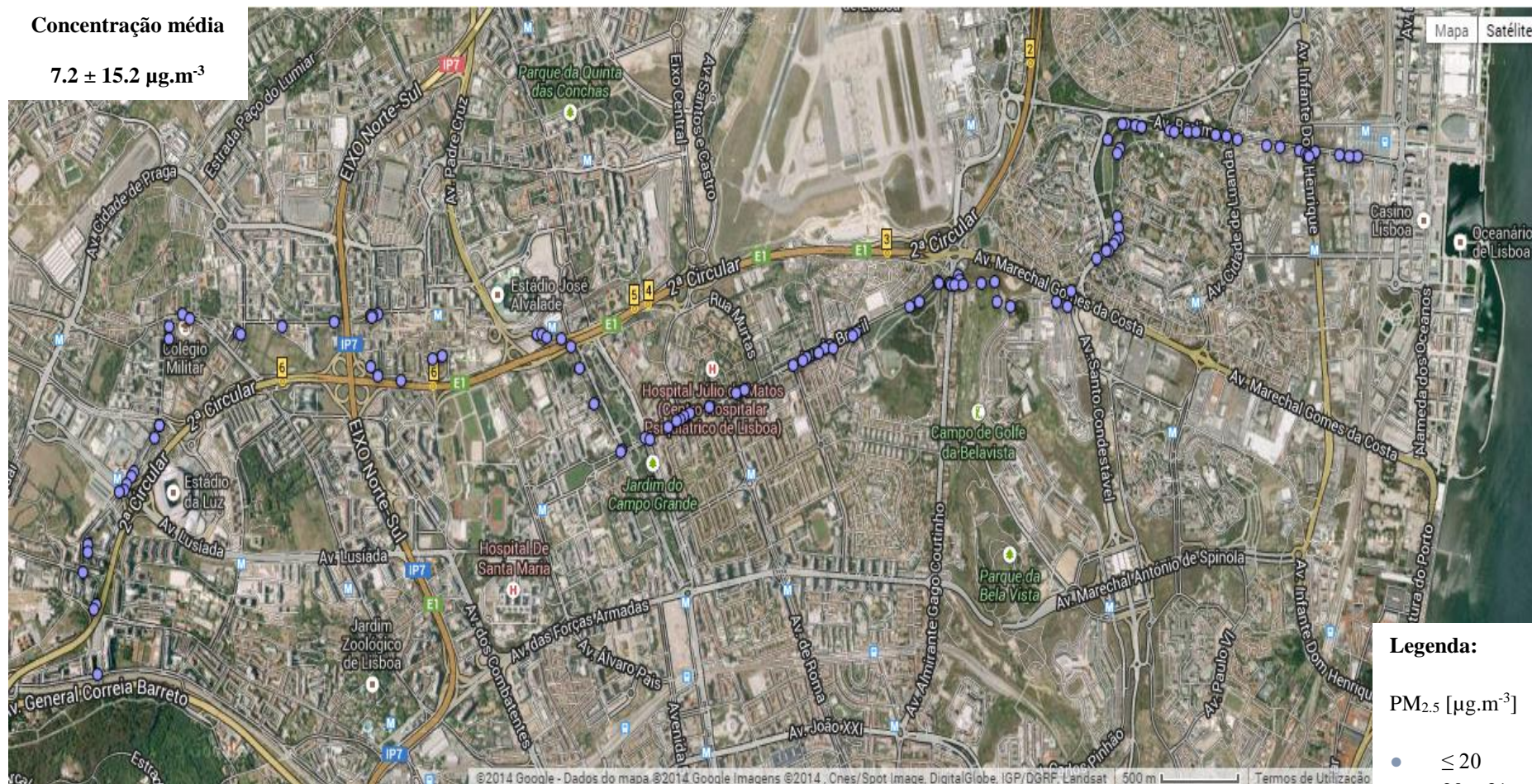
O local que marca os maiores valores ($> 50 \mu\text{g.m}^{-3}$) nos mapas das Figuras 5.19, 5.21 e 5.22 é o terminal de autocarros da Gare do Oriente. Este comportamento em relação ao resto do percurso pode dever-se à quantidade de carreiras que circulam na Estação de Lisboa-Oriente.



Figura 5.19 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM_{2.5}) no percurso Cidade, em dias de semana, no período das 8:00-10:00, em $\mu\text{g.m}^{-3}$.

Concentração média

$7.2 \pm 15.2 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$



Legenda:

$\text{PM}_{2.5} [\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$

- ≤ 20
- $20 - 31$
- $31 - 40$
- $40 - 50$
- $50 - 500$

Figura 5.20 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis ($\text{PM}_{2.5}$) no percurso Cidade, em dias de semana, no período das 11:00-13:00, em $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$.

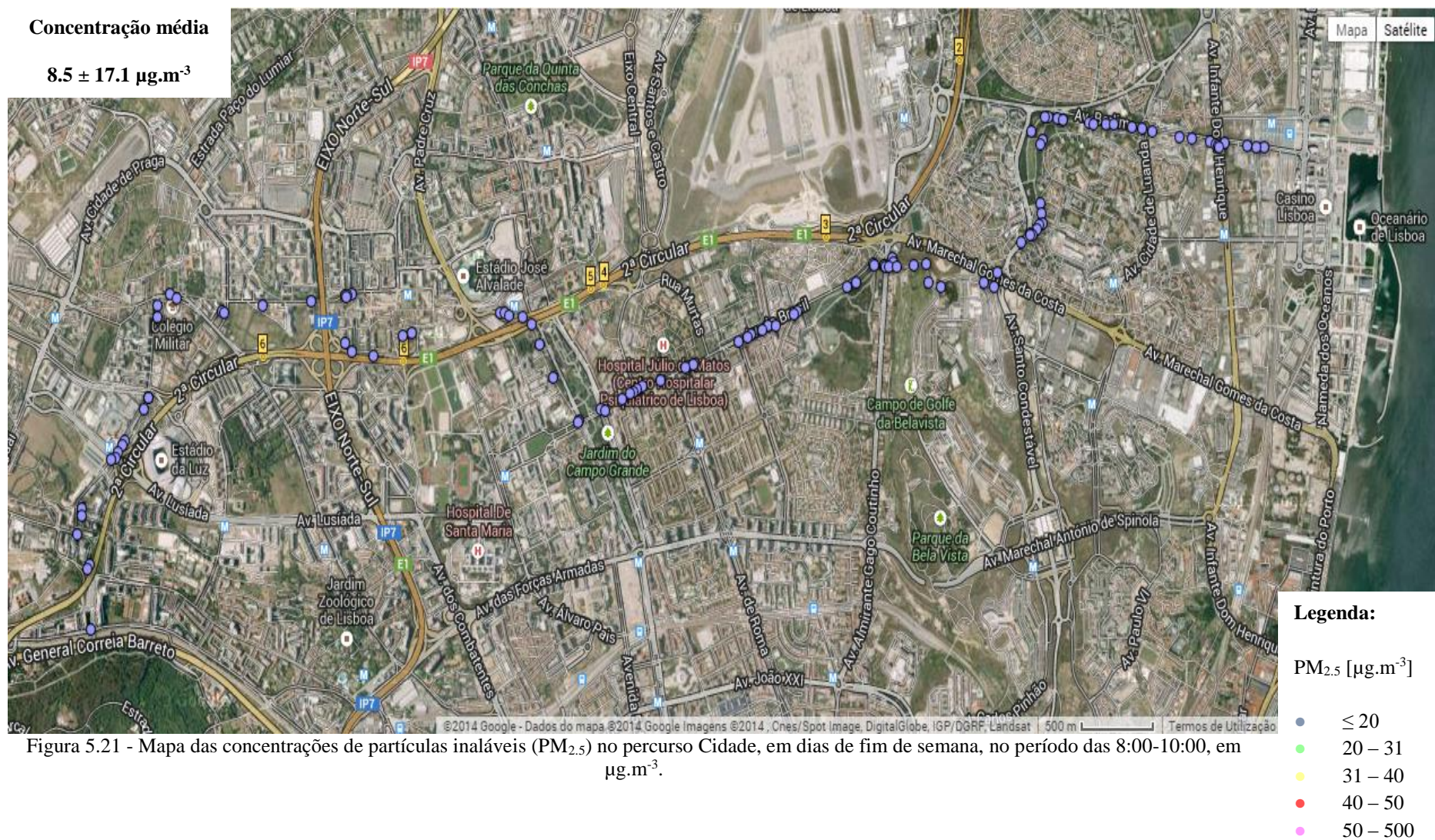


Figura 5.21 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM_{2.5}) no percurso Cidade, em dias de fim de semana, no período das 8:00-10:00, em $\mu\text{g.m}^{-3}$.

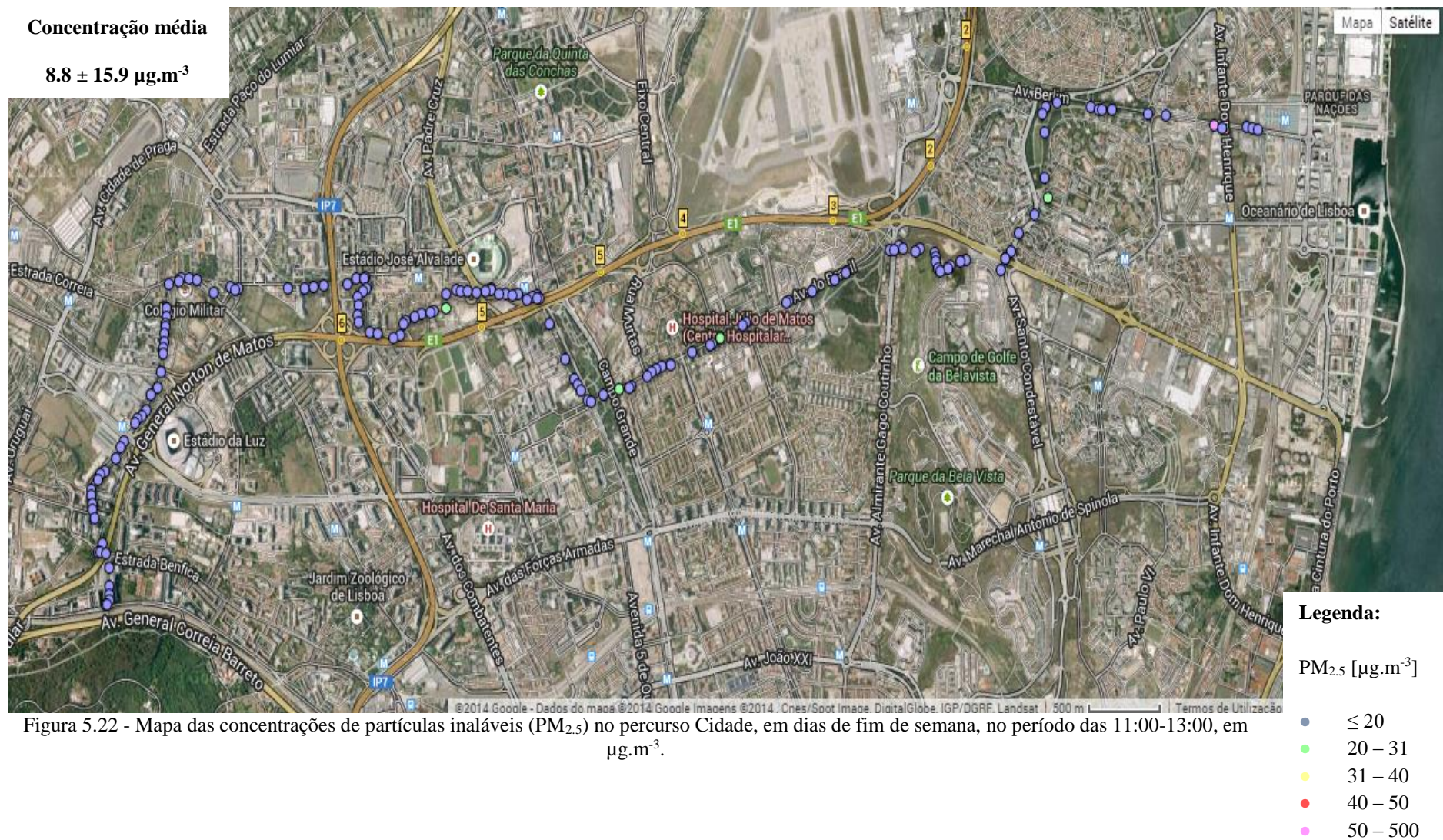


Figura 5.22 - Mapa das concentrações de partículas inaláveis ($\text{PM}_{2.5}$) no percurso Cidade, em dias de fim de semana, no período das 11:00-13:00, em $\mu\text{g.m}^{-3}$.

- *Percurso Monsanto*

Nas Figuras 5.23 e 5.24 apresentam-se as concentrações PM_{10} e $PM_{2.5}$ medidas no percurso de Monsanto, respetivamente.

Este percurso foi escolhido propositadamente para estabelecer uma comparação de uma zona que servisse de referência com os outros percursos, visto a área de Monsanto ter características que à partida prossupunham menores concentrações de poluentes atmosféricos. O facto de ser uma zona isolada das maiores artérias da cidade de Lisboa, encontrar-se envolvida por jardins e parques, e ter pouco movimento rodoviário (até porque não é passagem obrigatória para o centro da cidade) reflete os valores obtidos.

Os mapas elaborados corroboram as suspeitas iniciais. Verificou-se que 95% das concentrações de PM_{10} não excede $25 \mu\text{g.m}^{-3}$ e que 95% das concentrações de $PM_{2.5}$ não excede $20 \mu\text{g.m}^{-3}$. Verificaram-se máximos das PM_{10} na Estrada das Oliveiras de Baixo, na Estrada de Montes Claros e na Estrada da Serafina. Quanto às $PM_{2.5}$ os máximos foram registados nas mesmas estradas e ainda na Avenida Tenente Martins.

Importa referir que os mapas criados através da aplicação *Fusion Tables* são mapas que reuniram cinco medições cada utilizando-se uma ferramenta chamada *Merge*, a qual agrupou as cinco medições e gerou uma única visualização incluindo as cinco bases de dados.

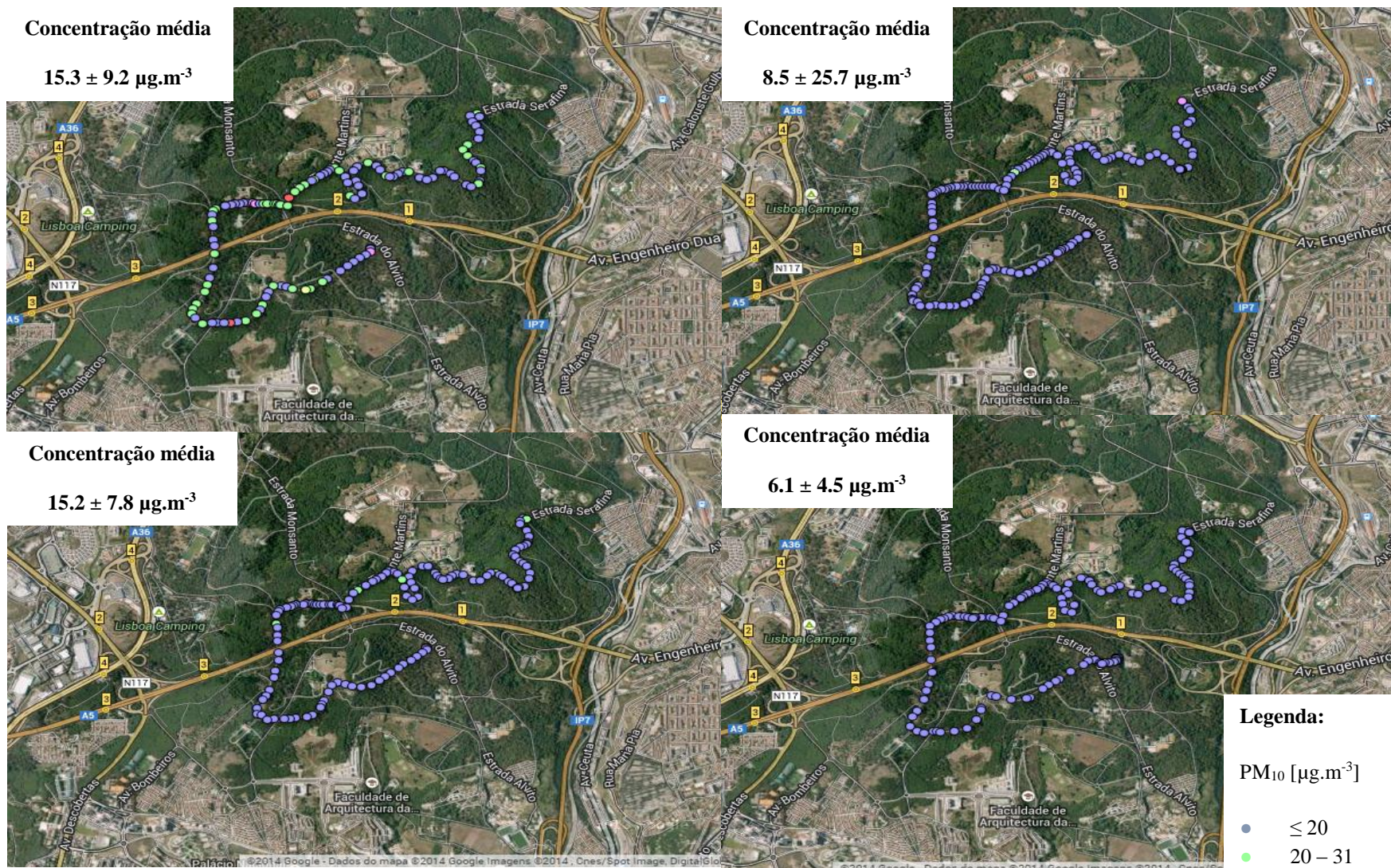


Figura 5.23 - Mapas das concentrações de partículas inaláveis (PM_{10}) no percurso Monsanto, em $\mu\text{g.m}^{-3}$.
 Esq. superior – em dias de semana, no período das 8:00-10:00. Esq. Inferior – em dias de semana, no período das 11:00-13:00. Dir. Superior – em dias de fim de semana, das 8:00-10:00. Dir. Inferior – em fim de semana, das 11:00-13:00.

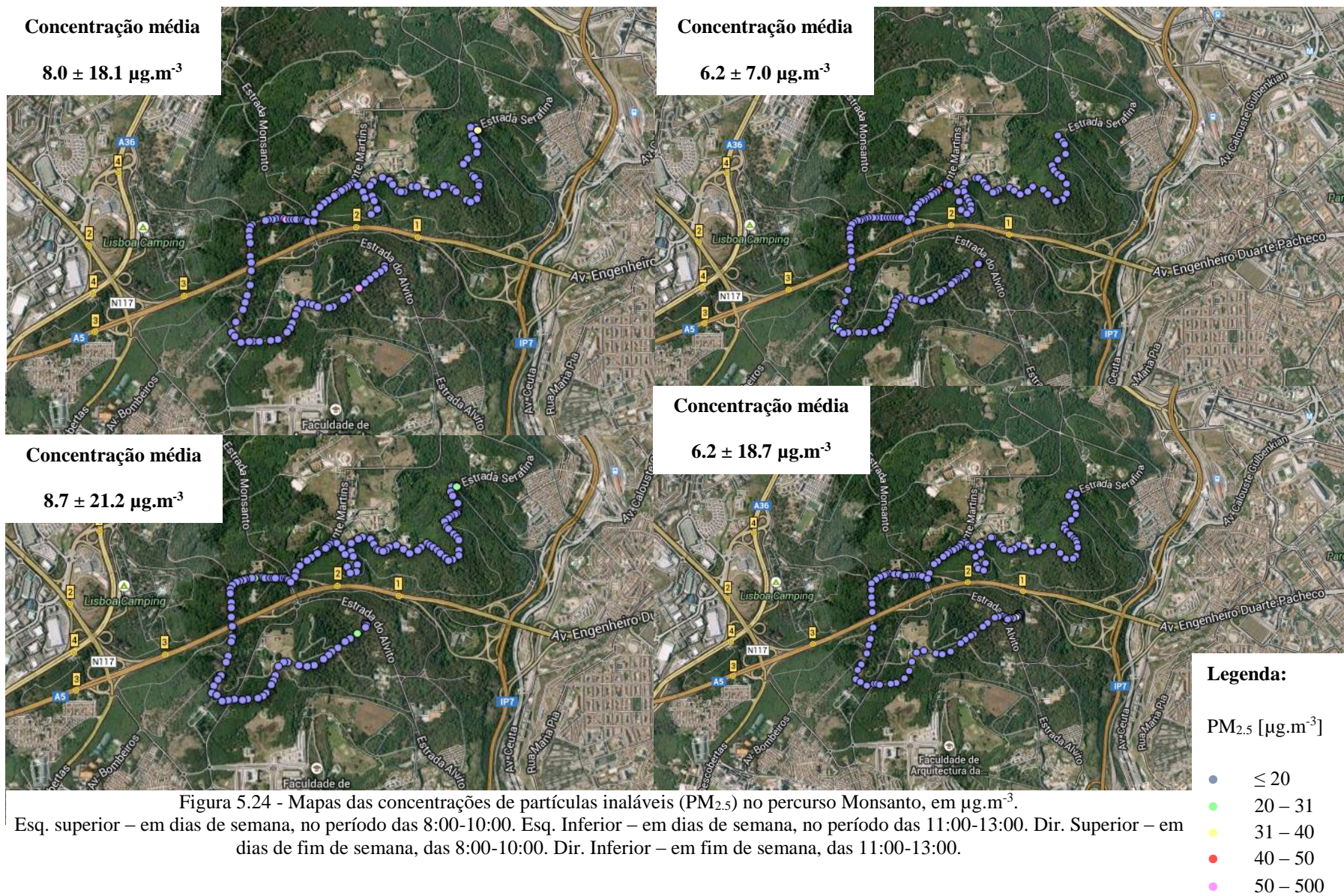


Figura 5.24 - Mapas das concentrações de partículas inaláveis (PM_{2.5}) no percurso Monsanto, em $\mu\text{g.m}^{-3}$.
Esq. superior – em dias de semana, no período das 8:00-10:00. Esq. Inferior – em dias de semana, no período das 11:00-13:00. Dir. Superior – em dias de fim de semana, das 8:00-10:00. Dir. Inferior – em fim de semana, das 11:00-13:00.

5.2 Utilização de Líquenes como biomonitorios

A medição de um parâmetro como a condutividade elétrica revela a vitalidade do líquene, a qual é influenciada pelo stress a que o líquene está exposto no local para onde foi transplantado, devido às condições atmosféricas e impacte da poluição do ambiente no local de destino (Sloof, 1995; Frati *et al.*, 2005).

Avaliou-se a condutividade elétrica de 34 amostras (n=34) transplantadas que tiveram um período de exposição de 15 semanas.

A Figura 5.25 mostra a distribuição espacial da condutividade elétrica dos líquenes expostos nas ciclovias da cidade de Lisboa. Resultados mostram que os líquenes expostos no percurso Ribeirinho apresentam maiores valores do que nos outros locais. Devido à proximidade de estradas principais e avenidas da cidade, e consequente libertação de poluentes atmosféricos, níveis elevados de condutividade eram expectáveis.

São observáveis locais com valores de condutividade elétrica elevados associados ao facto da ciclovia não ter uma barreira física (por exemplo, vegetação) entre ela e uma das principais avenidas da cidade, como é a Av. Infante D. Henrique, nomeadamente nos pontos R1 a R5.

A amostra R7 apresenta níveis de condutividade inferiores no percurso Ribeirinho. A área em que o líquene foi exposto é uma área que se encontra afastada da estrada e com pouco movimento rodoviário, localizando-se na Doca de Alcântara.

No último ponto do percurso Ribeirinho, R8, observou-se um valor elevado de condutividade elétrica. Este ponto está situado perto da Avenida Brasília e Av. da Índia, e Avenida Marginal. Esta última avenida serve de ligação com concelhos periféricos e daí o elevado fluxo de tráfego.

As amostras C8, C12 e C16 situadas na Av. Duque D'Ávila (Saldanha), Rua Fernando Namora (Telheiras) e Rua do Rio Zêzere (Carnide), respetivamente, apresentam níveis elevados de condutividade traduzindo-se em níveis elevados de poluição. Nestes três locais as ciclovias acompanham lado a lado a estrada, não existindo uma distância de mais de dois metros, tal facto pode justificar os elevados níveis devido ao fluxo de tráfego nas estradas em questão.

Em Carnide, o ponto C16, corresponde ao fim da ciclovia em funcionamento. As obras de continuação da rede ciclável com os trabalhos de movimentação de camiões de areia e outros equipamentos poderá explicar os valores elevados.

Em Monsanto (M1, M2, M4 e M7), e os pontos C2 (Parques Vale do Silêncio), C3 (Parque dos Olivais), C7 (Jardim do Campo Grande), C11 (Alvalade), e C15 (Bairro Padre Cruz), apresentaram os níveis mais baixos de condutividade elétrica uma vez que parte deles são áreas de floresta e parques com menos poluição. Tanto em Alvalade como no Bairro Padre Cruz as amostras foram expostas em zonas residenciais, com pouco tráfego rodoviário, e afastadas da estrada.

Em suma, os valores resultantes da avaliação da membrana da célula, através da condutividade elétrica, das amostras de líquenes, demonstram que as amostras localizadas em áreas com maior tráfego rodoviário registam os maiores níveis de condutividade que confirmam os elevados níveis de poluição.

De salientar o papel que as condições meteorológicas têm na qualidade do ar e podem ter desempenhado ao longo do processo de amostragem, influenciando certamente os resultados médios dos biomonitores.



Figura 5.25 - Distribuição espacial das condutividades elétricas dos líquenes expostos nas diferentes ciclovias da cidade de Lisboa, em $\text{mSm}^{-1}\text{g}^{-1}$. (Legenda: $\bullet < 9.198557091$; $9.19856 < \bullet < 11.9882$; $11.9882 < \bullet < 21.7577$; $\bullet > 21.75772627$)

5.3 Métodos instrumentais *versus* Biomonitores

Uma das grandes diferenças entre a utilização de métodos instrumentais e biomonitores centra-se na possibilidade de com os biomonitores termos informação espacial relativa a diversos elementos químicos atmosféricos o que pode desembocar na identificação de fontes emissoras.

Por outro lado, os analisadores pessoais permitem-nos ter uma informação em tempo real e quantitativa da concentração de partículas. Os equipamentos portáteis de exposição pessoal *AM510 SidePak Personal Aerosol Monitor®* utilizados neste trabalho alojam os dados de concentrações de aerossóis medidos em tempo real (mg.m^{-3}).

O facto de ser pequeno, portátil, de fácil compreensão e manuseamento, e ter uma cabeça de amostragem removível, permitindo a seleção dos aerossóis amostrados pelo aparelho de acordo com a fração pretendida, representam as vantagens deste tipo de equipamento. A sua elevada capacidade de armazenamento também é uma mais-valia, memorizando mais de 31 000 valores com um intervalo de 10 segundos. Constitui uma desvantagem ao uso deste aparelho o facto de a sua autonomia estar limitada a algumas horas.

O uso de líquenes neste estudo revelou-se de extrema importância proporcionando uma avaliação global da qualidade do ar nas ciclovias da cidade de Lisboa. Este método permitiu avaliar mais ciclovias e integrar resultados referentes a um maior período temporal.

A biomonitorização em comparação com métodos instrumentais dá vantagens como (Godinho, 2010):

- Baixo custo;
- Não necessita de uma fonte de energia;
- Fácil amostragem e manipulação da amostra.

6 Conclusões

6.1 Síntese

A poluição do ar é um problema a nível global. A dispersão dos poluentes e a capacidade destes em responderem a diferentes condições atmosféricas torna-se um problema sem fronteiras; na verdade estamos a tratar de um tipo de poluição sem barreiras físicas.

O risco para a saúde é reconhecido e pode tomar grandes proporções. A inalação de poluentes atmosféricos, e em especial das partículas, pode ser danoso para o organismo. Ao longo da dissertação fez-se alusão a duas principais fontes emissoras de partículas: o tráfego automóvel e a indústria.

Verifica-se que o aumento da mobilidade das populações com o uso recorrente ao transporte individual, mesmo para distâncias consideradas curtas, tornou o tráfego rodoviário um dos principais responsáveis pela má qualidade do ar na capital portuguesa. Existe assim um novo paradigma na sociedade: o da mobilidade sustentável; a procura de novas políticas de transporte que possam ser a alternativa ao transporte individualizado. No entanto, a criação de infraestruturas que suportem os meios alternativos deve ser planeada e estruturada. Os utilizadores de modos suaves como, por exemplo, a bicicleta, no meio urbano, estão expostos a emissões de poluentes seja a sua fonte o automóvel ou a indústria.

A presente dissertação teve como caso de estudo o município de Lisboa e os níveis de poluição atmosférica a que os utilizadores da rede ciclável da cidade estão sujeitos.

A metodologia de trabalho foi dividida em duas partes: a medição das concentrações de PM ao longo de três percursos escolhidos, recorrendo-se ao uso de analisadores pessoais e portáteis. E numa segunda fase prática do trabalho, a utilização de líquenes como biomonitores.

Pela análise dos dados recolhidos constatou-se que a média das concentrações tanto das partículas inaláveis PM₁₀ como as PM_{2.5} mais elevada, de entre os três percursos estudados, nos dois tipos de dias estudados (semana e fim de semana), nos dois períodos horários (8:00-10:00 e 11:00-13:00), atingiu-se no percurso Ribeirinho. Uma vez que a via ciclável, praticamente durante todo o percurso, acompanha grandes avenidas do concelho, o tráfego automóvel está na base destes resultados.

Conclui-se igualmente que a rede ciclável quando articulada com os espaços verdes, com percursos pedonais da cidade, e também quando tem uma distância considerável entre si e as faixas de viação, apresenta uma menor perigosidade estando os seus utilizadores expostos a concentrações significativamente inferiores. No percurso Cidade, a média de concentrações das partículas inaláveis PM_{2.5}, nas duas séries de dias e nos dois períodos horários encontrou-se sempre abaixo de 9 µg.m⁻³.

Quanto maior a distância entre os ciclistas e os tubos de escape dos veículos, menos partículas os primeiros inalam. As ciclovias quando protegidas por uma zona de vegetação encontram-se igualmente mais seguras. É assim necessário um esforço maior na separação física entre os ciclistas e os veículos motorizados.

O percurso Monsanto, como seria de esperar, registou a média de concentrações das duas frações de partículas inaláveis mais baixas dos três percursos, com a exceção do período das 8:00-10:00 nos dias de semana que apresentou concentrações significativamente mais elevadas do que na cidade ($6.7 \mu\text{g.m}^{-3}$ e $8.0 \mu\text{g.m}^{-3}$, respetivamente).

A comparação dos dados recolhidos pelas EQA e pelos analisadores pessoais tem de ser feita com muito cuidado pois estamos a tratar de dados com um contexto completamente diferente. Além do seu carácter fixo, as EQA estão em locais específicos, sendo a sua classificação de acordo com a zona onde se encontram e a fonte de emissão de poluentes dominante. Desta forma existem diferenças muito significativas entre os dados recolhidos pelos analisadores e pelas estações de monitorização. Apesar de as estações de monitorização da qualidade do ar serem mais exatas, considera-se o uso dos equipamentos *SidePak* útil na medida em que se avalia os níveis de poluição ao longo de um trajeto. A utilização deste tipo de aparelhos oferece uma monitorização portátil e móvel, ao contrário das EQA, permitindo ainda que o utilizador leia as concentrações (em mg.m^{-3}) que o equipamento vai medindo durante a amostragem e em tempo real. Tem ainda a vantagem de um mesmo aparelho, substituindo-se a cabeça de amostragem, poder medir diferentes frações de PM. Com o auxílio do GPS que posiciona as concentrações é possível tornar a poluição invisível, visível. A repetição das medições para um mesmo percurso teve como propósito obter o maior número possível de dados de modo a que a amostragem tivesse a maior representatividade possível.

No que diz respeito à biomonitorização, verificou-se que os maiores níveis de condutividade se observaram no percurso Ribeirinho e em pontos do percurso Cidade com grande movimento rodoviário ou local de obras.

Ao recorrer-se a duas abordagens distintas (métodos instrumentais e biomonitorização) na avaliação dos poluentes obteve-se uma leitura real e ampla dos dados. Por um lado, os equipamentos portáteis proporcionam um diagnóstico quantitativo da exposição de um utilizador na rede ciclável de Lisboa, em dias e horas distintos. Já os líquenes permanecendo nos locais onde foram transplantados, num período alargado e sem serem movidos, permitiu uma análise da distribuição espacial dos poluentes numa maior área e considerando um período temporal superior.

É um facto que têm vindo a ocorrer melhorias consideráveis na qualidade do ar, também devido ao alerta mundial sobre esta problemática, mas ainda continuamos longe do ideal. Setores como o dos transportes, energia e indústria devem ser os primeiros a continuar a implementar políticas que reduzam a poluição do ar.

Em suma, o uso da bicicleta como modo ativo de transporte acarreta benefícios não só para a saúde como também para o ambiente. Porém, os resultados obtidos mostram que a localização dos percursos cicláveis deve ser bem avaliado e estudado, por forma a se potenciar os benefícios deste tipo de atividade e reduzir os impactes na saúde.

6.2 Cumprimento dos objetivos

Referiu-se no subcapítulo 1.2 que a dissertação aborda três temas interligados entre si: ambiente, saúde e mobilidade. O tema tratado pedia uma interligação dos três, não se podendo estudar a poluição do ar sem se abordar os seus efeitos na saúde pública. Visto o âmbito do trabalho, a mobilidade tornou-se peça de união.

Este trabalho tinha como objetivo avaliar a exposição a poluentes atmosféricos que os utilizadores das ciclovias da cidade de Lisboa estão expostos. Este objetivo foi cumprido através da realização de 60 campanhas de amostragem onde as concentrações de PM_{10} e $PM_{2.5}$ foram avaliadas, que permitiram uma vasta amostragem, tornando representativos os resultados e possibilitando, desse modo, a sua interpretação e devidas conclusões. O uso em paralelo de métodos instrumentais e biomonitorios na apuração do nível de exposição permitiu obter informação sobre as zonas mais preocupantes e a identificação de fontes emissoras na capital portuguesa, cumprindo-se o outro objetivo proposto na dissertação.

6.3 Limitações

Uma das limitações deste trabalho residiu na parte prática, na realização das voltas de bicicleta, na recolha dos dados. Fisicamente foi um trabalho que exigiu bastante e não foi possível albergar todos os troços em funcionamento da rede ciclável de Lisboa.

6.4 Desenvolvimentos futuros

Esta tese avaliou exclusivamente o parâmetro da condutividade elétrica dos líquenes o que permitiu analisar a poluição na cidade de forma ampla. Contudo existem muitos mais parâmetros destes

biomonitores que podem ser analisados. A análise dos diversos elementos químicos atmosféricos traduzida em informação espacial é fundamental à elaboração de estudos epidemiológicos e à identificação de fontes emissoras.

Este estudo poderá ser uma ferramenta útil e um início na avaliação dos níveis de poluição na rede ciclável da cidade de Lisboa usando-se biomonitores. O tipo de informação que os biomonitores fornecem como, por exemplo, a localização de fontes emissoras, prepara as autoridades locais em conformidade com a realidade, sabendo onde atuar, permitindo o planeamento urbanístico integrado e congruente com as várias atividades que ocorrem na cidade.

Tornou-se assim patente a significância das redes de monitorização da qualidade do ar. A monitorização é crucial para a avaliação dos níveis de exposição da população, quer seja fixa ou móvel, podendo esta última ser usada para a consciencialização das populações.

Os utilizadores da rede ciclável ao usarem este tipo de expositores pessoais poderão testemunhar, em tempo real, o nível de concentrações a que estão sujeitos, tornando-se mais alertas e conscientes, o que poderá servir como alavanca para um melhor planeamento de infraestruturas como estas.

7 Referências bibliográficas

Almeida S.M. (2004) Composição e origem do aerossol atmosférico em zona urbano-industrial. Tese de Doutoramento, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro. Portugal.

Almeida S.M., Lage J., Freitas, M.C., Pedro A.I., Ribeiro T., Silva A.V., Canha N., Almeida-Silva M., Siteo T., Dionísio I., Garcia S., Domingues G., Faria J.P., Fernández B.G., Ciaparra D., Wolterbeek H.T. (2012) Integration of biomonitoring and instrumental techniques to assess the air quality in an industrial area located in the coastal of Central Asturias, Espanha. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A* 75: 1392-1403.

Almeida S.M., Silva A.V., Sarmento S. (2014) Effects of exposure to particles and ozone on hospital admissions for cardiorespiratory diseases in Setúbal, Portugal. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A* 77(14-16): 837-48. DOI: 10.1080/15287394.2014.887399.

AML (2014) Área Metropolitana de Lisboa. Obtido de <http://www.aml.pt/aml/>.

Bargagli R. (1998) Lichens as biomonitors of airborne trace elements. Trace Elements in Terrestrial Plants: an Ecophysiological Approach to Biomonitoring and Biorecovery. Berlim, Alemanha. *Springer Verlag*: 179-206.

Berkowicz R., Palmgren F., Hertel O., Vignati E. (1996) Using measurements of air pollution in streets for evaluation of urban air quality – Meteorological analysis and model calculations. *Science of the Total Environment* 190: 259-65.

Boogaard H., Borgman F., Kamminga J., Hoek G. (2009) Exposure to ultrafine and fine particles and noise during cycling and driving in 11 Dutch cities. *Atmospheric Environment* 43: 4234-4242.

CCDR-LVT (2011) Aprovação da Zona de Emissões reduzidas (ZER) na cidade de Lisboa. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo.

CCDR-LVT (2012) Qualidade do ar. Ambiente. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo.

CCDR-LVT (2014) Avaliação da Qualidade do Ar na Região de Lisboa e Vale do Tejo.

CE (2008)
Obtido de http://europa.eu/legislation_summaries/environment/air_pollution/ev0002_pt.htm.

CE (2010) Qualidade do ar: níveis de poluição por partículas finas e dióxido de enxofre nos Estados-Membros continuam a ser objeto de ações da Comissão. Comunicado de imprensa – IP/10/315. Bruxelas, Bélgica (2010-03-18).

CE (2013) Air pollution.
Obtido de http://europa.eu/legislation_summaries/environment/air_pollution/ev0002_pt.htm.

CE (2014) Poluição atmosférica.
Obtido de http://europa.eu/legislation_summaries/environment/air_pollution/index_pt.htm.

CML (2008) Documento Estratégico de Monitorização da Zona Ribeirinha Oriental. Departamento de Planeamento Urbano. Direção Municipal de Planeamento Urbano. Câmara Municipal de Lisboa.

CML (2011) Zona de Emissões Reduzidas. Mobilidade. Maio de 2011.

CML (2014) Obtido de <http://www.cm-lisboa.pt/>.

Conti M.E., Cecchetti G. (2001) Biological monitoring, lichens as bioindicators of air pollution assessment – a review. *Environmental Pollution* 114: 471-492.

Decreto-Lei n.º 102/2010. Diário da República, I Série. 186 (2010-09-23).

Dockery D.W., Pope C.A. (1994) Acute respiratory effects of particulate air pollution. *Annual Review of Public Health* 15: 107-132.

EEA (2014) Poluição atmosférica. Obtido de <http://www.eea.europa.eu/pt/themes/air/intro>.

EP (2012) Centro de Competências de Tráfego da Estradas de Portugal. Estradas de Portugal.

Fрати L., Brunialti G., Loppi S. (2005) Problems related to lichen transplants to monitor trace element deposition in repeated surveys: a case study from Central Italy. *J. Atmos. Chem.* 52: 221-230.

Garty J., Kaupi M., Kaupi A. (1996) Accumulation of air elements from vehicles in transplanted lichen in urban sites. *J. Environ. Qual.* 25: 265-272.

Garty J., Cohen Y., Keloog N. (1998) Airborne elements, cell membranes and chlorophyll in transplanted lichens. *Journal of Environmental Quality* 27: 973-979.

Garty J., Weissman L., Tamir O., Beer S., Cohen Y., Karnieli A., Orlovsky L. (2000) Comparison of five physiological parameters to assess the vitality of the lichen *Ramalina lacera* exposed to air pollution. *Physiol. Plant.* 109: 410-418.

Garty J. (2001) Biomonitoring atmospheric heavy metals with lichens: Theory and application. *Critical reviews in plant sciences* 20: 309-371.

Garty J., Weissman L., Cohen Y., Karnieli A., Orlovsky L. (2001) Transplanted lichens in and around the Mount Carmel National Park and Haifa Bay industrial region in Israel: Physiological and chemical responses. *Environmental Research* 159: 159-176.

GBPAML (2013) Guia de boas práticas de sustentabilidade dos municípios da área metropolitana de Lisboa. Área Metropolitana de Lisboa. Lisboa.

Godinho R.M. (2010) Lichen biomonitors: factos affecting response behaviour. Tese de Doutoramento. Departamento de Radiação, Radionuclides e Reactores, Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade de Tecnologia de Delft, Holanda. ISBN 978-1-60750-482-5.

González C.M., Casanovas S.S., Pignata M.L. (1996) Biomonitoring of air pollutants from traffic and industries employing *Ramalina ecklonii* (spreng.) Mey. and Flot. *Environ. Pollut.* 91: 269-277.

Grantz D.A., Garner J.H.B., Johnson D.W. (2003) Ecological effects of particulate matter. *Environmental International* 29: 213-239.

Gries C. (1996) Lichens as indicators of air pollution, in T. H. Nash III (ed.), *Lichen Biology*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 240-254.

Hertel O., Hvidberg M., Ketzel M., Storm L., Stausgaard L. (2007) A proper choice of route significantly reduces air pollution exposure – A study on bicycle and bus trips in urban streets. *Science of the Total Environment* 389: 58-70.

IMTT (2011) Glossário do Pacote da Mobilidade. Conferência Território, Acessibilidade e Gestão da Mobilidade.

IMTT (2012) Plano de Promoção da Bicicleta e Outros Modos Suaves, 2013>2020. Gabinete de Planeamento, Inovação e Avaliação (GPIA). Instituto da Mobilidade e dos Transportes, I.P. (IMT).

INE (2014) Censos de 2011. Lisboa, Portugal.

Kaur S., Nieuwenhuijsen M.J., Colvile R.N. (2007) Fine particulate matter and carbon monoxide exposure concentrations in urban street transport microenvironments. *Atmospheric Environment* 41: 4781-4810.

Markert B.A., Breure A.M., Zechmeister H.G. (2003) Definitions, strategies and principles for bioindication/biomonitoring of the environment. In *Bioindicators and Biomonitoring. Principles, Concepts and applications*. Markert B., Breure A.M., Zechmeister H.G., (Ed.). Amesterdão, Holanda. Elsevier, pp. 3-39.

Marques A.P. (2008) Positional Responses in Lichen Transplant Biomonitoring of Trace Element Air Pollution. Tese de Doutorado. Departamento de Radiação, Radionuclides e Reactores, Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade de Tecnologia de Delft, Holanda. ISBN 978-1-58603-928-8.

McCreanor J., Cullinan P., Nieuwenhuijsen M.J., Stewart-Evans J., Malliarou E., Jarup L., Harrington R., Svartengren M., Han I.K., Ohman-Strickland P., Chung K.F., Zhang J. (2007) Respiratory effects of exposure to diesel traffic in persons with asthma. *New England Journal of Medicine* 357: 2348-2358.

Mulgrew A., Williams P. (2000) Biomonitoring of air quality using plants. In. Berlim, Alemanha: WHO Colaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control, Federal Environmental Agency, pp. 1-165.

Nash III T.H. (1996) Lichen Biology. Cambridge University Press. Cambridge, Inglaterra.

Peters A., von Klot S., Heier M., Trentinaglia I., Hormann A., Wichmann H.E., Lowel H. (2004) Exposure to traffic and the onset of myocardial infarction. *New England Journal of Medicine* 351:1721-1730.

Portal Nacional (2014) Obtido de <http://portalnacional.com.pt/lisboa/lisboa/>.

Puckett K.J. (1988) Bryophytes and lichens as monitors of metal deposition. *Lichens, Bryophytes and Air Quality* pp. 231-267.

Riediker M., Cascio W.E., Griggs T.R., Herbst M.C., Bromberg P.A., Neas L., Williams R.W., Devlin R.B. (2004) Particulate matter exposure in cars is associated with cardiovascular effects in healthy young men. *American Journal of Respiratory & Critical Care Medicine* 169: 934-940.

Rojas C.S. (2013) Condições Meteorológicas e níveis de poluição na região metropolitana de Lima – Perú. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil.

Sloof J.E. (1993) Environmental Lichenology: Biomonitoring Trace element Air Pollution. Tese de Doutorado. Universidade de Tecnologia de Delft. Delft, Holanda. pp. 1-191.

Sloof J.E. (1995) Lichens as quantitative biomonitors for atmospheric trace-element deposition, using transplants. *Atmospheric Environment* 29: 11-20.

Stern A.C., Bonbel R.W., Turner D.B. Fox D.L. (1984) Fundamentals of Air Pollution. Academic Press. Second Edition. pp. 530.

vanWijnen J.H., Verhoeff A.P., Jans H.W.A., Vanbruggen M. (1995) The exposure of cyclists, car drivers and pedestrians to traffic-related air pollutants. *International Archives of Occupational & Environmental Health* 67: 187-193.

WHO (2013) Health effects of particulate matter: policy implications for countries in Eastern Europe, Caucasus and central Asia. Regional Office for Europe. World Health Organization. ISBN 978-92-890-0001-7.

WHO (2014) Air pollution. Obtido de http://www.who.int/topics/air_pollution/en/.

Wolterbeek B. (2002) Biomonitoring of trace element air pollution, principles, possibilities and perspectives. *Environmental Pollution* 120: 11-21.

Wolterbeek H.T., Garty J., Reis M.A., Freitas M.C. (2002) Chapter 11 Biomonitors in use: lichens and metal air pollution. In Trace Metals and other Contaminants in the Environment Bioindicators & Biomonitors – Principles, Concepts and Applications. Markert B.A. (Ed.). Elsevier, 377-419.

Apêndices

A.1 Controlo de qualidade

Tabela A.1.1 - Valores dos dois tipos de PM medidos nos três tipos de aparelhos usados no controlo de qualidade, em $\mu\text{g.m}^{-3}$.

Gent			<i>SidePak</i>		<i>Dusttrak</i>	
SFU	PM₁₀	PM_{2.5}	PM₁₀	PM_{2.5}	PM₁₀	PM_{2.5}
15	-----	19.2	18.8	14.7	24	20.6
227	32.9	18.1	26.3	27.3	35	28
30	32	17	20.2	22.6	31	23
33	58	29.5	32	29.4	46	35
17	14	4.3	6.1	7.1	14.4	9.9

A.2 Comparação das concentrações de PM entre *SidePak* e EQA

Tabela A.2.1 - Concentrações das PM₁₀ obtidas pelos amostradores pessoais e pelas EQA, nos diferentes períodos de medição nos três percursos em estudo, em $\mu\text{g.m}^{-3}$.

Exp. Pessoal	Av. Liberdade	Olivais	Entrecampos	Restelo
PM ₁₀ $\mu\text{g.m}^{-3}$				
S 8:00 – 10:00				
41	45.1	11	24.8	44.4
13	24.9	10.4	4.1	14.8
15.7	40.3	23.9	21.8	31
13.5	20.2	15.4	12.4	21
38.7	48.2	27.8	28	44.8
S 11:00-13:00				
30.7	44.4	11.5	25.8	46.3
13.4	23	10.4	8.1	18.5
18.4	53.1	51.6	34.2	42.9
13.5	28	15.1	14.2	24.1
33.5	36.9	25.4	37.6	35.2
FDS 8:00-10:00				
10.3	19.	-----	11.2	17.7
20.6	23.8	24.3	24.8	34.2
46	56.4	23	26.6	53.3
8.5	10.6	10.7	9.4	20
50.3	31.9	33	24.9	37.1
FDS 11:00-13:00				
9.7	25.1	-----	16.7	24.8
17.0	23	17.4	24.8	32.6
45	43.8	27.3	24.8	54.8
9	12.1	5.8	6.9	18.3
45.7	28.8	21.6	26	32.4
S 8:00-10:00				
27.1	32.8	-----	14.3	-----
10.9	29.5	22.6	8.1	22.8
22.1	38.1	17.8	17.7	32.5
8.4	19.2	11.2	8.9	15.1
13.2	21.2	6.1	-----	-----
S 11:00-13:00				
31.8	32	-----	14.5	24.4
10.5	24.8	13.1	7.7	17.5
19.9	42	12	15.3	30.6
6.6	14.9	6.4	15.3	16.8
12.3	22.3	7.1	-----	-----

Exp. Pessoal	Av. Liberdade	Olivais	Entrecampos	Restelo
PM ₁₀ µg.m ⁻³				
FDS 8:00-10:00				
11.8	26.1	17.1	10	20.8
9.9	13.6	8.6	6.5	-----
12.6	16.5	9.6	11.8	14.6
10.8	14.5	10.4	8.9	-----
9.5	14.3	13.7	6.6	-----
FDS 11:00-13:00				
13.1	29.9	21.2	9.4	-----
10.5	15.9	7.1	4.7	-----
8.9	18.9	13.3	21.2	19
11.8	6.9	7.9	9	-----
9.4	14.3	9	4	-----
S 8:00-10:00				
20.9	38.7	-----	10.6	27.5
16	36	19.7	8.3	27
12.4	28.3	32.3	-----	27
13.1	48.1	23.2	31.9	46.1
15.0	38.9	16.6	16.5	47.5
S 11:00-13:00				
15.7	35.4	-----	12.7	24.6
12.9	36.6	34.5	18.3	29.6
11.4	36.6	22.6	-----	24
21.7	64.9	49.3	36.6	44
14.1	37.8	10.6	9.4	24.1
FDS 8:00-10:00				
5.5	23.6	4.2	3.8	16.2
12.7	19.8	8.5	-----	19.6
5.9	15.3	14.9	11.8	25
5.3	10.6	7.8	4.7	9.2
5.6	22.1	21.2	10.6	-----
FDS 11:00-13:00				
7.8	27.1	4.9	3.5	16.8
7.1	24.8	13.2	-----	17.6
7.9	14.2	12	22.4	25.7
2.6	5.9	9.3	3.5	13.3
6.5	22.4	12.8	-----	-----

Tabela A.2.2 - Concentrações das PM_{2.5} obtidas pelos amostradores pessoais e pelas EQA, nos diferentes períodos de medição nos três percursos em estudo, em µg.m⁻³.

Exp. Pessoal	Olivais	Entrecampos
PM _{2.5} µg.m ⁻³		
S 8:00-10:00		
8.0	8.9	9.0
5.8	5.6	2.4
9.3	-----	9.0
9.9	8.9	3.5
34.1	9.0	19.9
S 11:00-13:00		
7.5	9.0	8.1
5.8	6.3	2.1
7.4	-----	8.0
9.2	8.5	3.0
26.8	18.7	19.6
FDS 8:00-10:00		
8.4	7.1	3.6
5.6	-----	12.5
44.0	17.8	9.0
9.2	6.5	-----
46.4	19.8	22.5
FDS 11:00-13:00		
9.4	6.7	1.3
4.9	-----	11.0
42.0	10.0	15.0
10.3	6.2	-----
41.0	21.8	20.3
S 8:00-10:00		
5.0	8.9	5.9
6.4	7.6	3.6
5.6	4.0	7.0
5.3	5.3	6.0
11.3	6.6	7.5
S 11:00-13:00		
6.2	-----	6.6
6.5	5.9	3.0
9.2	4.9	4.0
4.8	7.6	4.0
9.2	6.1	4.3
FDS 8:00-10:00		
10.0	12.3	6.5
4.0	8.2	4.0
9.9	10.5	5.5

Exp. Pessoal	Olivaís	Entrecampos
PM _{2.5} µg.m ⁻³		
9.9	4.6	5.3
8.4	8.2	6.5
-----	-----	-----
FDS 11:00-13:00		
7.4	20.9	4.0
5.2	7.7	4.0
9.7	9.2	8.0
10.5	6.2	5.8
10.7	6.7	3.4
S 8:00-10:00		
8.8	9.7	6.0
4.0	7.8	7.0
5.6	9.0	-----
7.5	14.8	9.0
11.7	10.3	11.0
S 11:00-13:00		
11.9	5.0	2.3
4.1	5.7	7.8
6.3	4.6	-----
6.8	16.9	12.0
14.1	7.5	6.0
FDS 8:00-10:00		
5.7	6.5	1.0
3.4	8.6	4.0
9.1	8.1	4.0
5.8	6.2	3.0
5.2	13.2	11.0
FDS 11:00-13:00		
5.9	4.3	1.0
3.5	8.4	2.0
5.9	5.9	3.0
6.8	7.2	1.0
5.1	8.4	12.8

A.3 Amostradores pessoais: exposição a partículas nos diferentes percursos

Tabela A.3.1 – Exposição a PM₁₀ nos três percursos em estudo, em µg.m⁻³.

Percurso	Dia	Horas	Mínimo	Percentil 5	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75	Percentil 95	Máximo	Média	Desvio Padrão
R	S	8	7	9	12	17	38	46	299	24.5	15.7
		11	7	10	13	18	29	42	197	21.6	11.7
	FDS	8	5	6	8	20	46	55	139	27.4	19.4
		11	4	6	9	17	43	53	201	25.6	18.5
C	S	8	2	5	8	13	21	31	434	16.2	16.5
		11	1	4	7	12	20	34	422	15.3	17.8
	FDS	8	5	7	8	10	11	18	216	10.9	7.9
		11	3	5	7	9	11	19	234	10.7	12.2
M	S	8	7	9	11	13	17	25	135	15.3	9.2
		11	4	9	11	13	18	25	101	15.2	7.8
	FDS	8	1	3	4	6.5	9	13	480	8.5	25.7
		11	1	2	3	6	7	11	63	6.1	4.5

Tabela A.3.2 – Exposição a PM_{2.5} nos três percursos em estudo, em µg.m⁻³.

Percurso	Dia	Horas	Mínimo	Percentil 5	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75	Percentil 95	Máximo	Média	Desvio Padrão
R	S	8	1	2	5	8	15	38	399	13.1	16.8
		11	1	1	4	7	14	31	276	11.0	13.3
	FDS	8	1	1	5	10	42	52	472	23.2	27.1
		11	1	2	5	11	39	49	452	22.0	22.7
C	S	8	1	1	3	5	8	17	200	6.7	9.5
		11	1	1	3	5	8	16	427	7.2	15.2
	FDS	8	1	1	4	7	10	16	435	8.5	17.1
		11	1	1	4	7	10	17	418	8.8	15.9
M	S	8	1	1	3	5	10	18.6	375	8.0	18.1
		11	1	1	3	5	10	20	487	8.7	21.2
	FDS	8	1	1	3	5	7	12	77	6.2	7.0
		11	1	2	3	5	6	10.75	382	6.2	18.7

A.4 Valor-*p*

Tabela A.4.1 – Teste estatístico de Mann-Whitney: valor-*p* da comparação dos períodos horários e tipologia de dias entre os três percursos em estudo.

			Ribeirinho				Cidade				Monsanto			
			Semana		Fim de semana		Semana		Fim de semana		Semana		Fim de semana	
			8:00-10:00	11:00-13:00	8:00-10:00	11:00-13:00	8:00-10:00	11:00-13:00	8:00-10:00	11:00-13:00	8:00-10:00	11:00-13:00	8:00-10:00	11:00-13:00
Ribeirinho	Semana	8:00-10:00		0.00	0.06	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		11:00-13:00	0		0.00	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Fim de semana	8:00-10:00	0	0.00		0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		11:00-13:00	0	0.00	0.61		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cidade	Semana	8:00-10:00	0	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.07	0.02	0.00	0.00
		11:00-13:00	0	0.00	0.00	0.00	0.05		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Fim de semana	8:00-10:00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		11:00-13:00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05		0.00	0.00	0.00	0.00
Monsanto	Semana	8:00-10:00	0	0.00	0.00	0.00	0.03	0.38	0.00	0.00		0.30	0.00	0.00
		11:00-13:00	0	0.00	0.00	0.00	0.01	0.21	0.00	0.00	0.68		0.00	0.00
	Fim de semana	8:00-10:00	0	0.00	0.00	0.00	0.71	0.41	0.00	0.00	0.15	0.11		0.00
		11:00-13:00	0	0.00	0.00	0.00	0.55	0.03	0.00	0.00	0.03	0.02	0.20	

Legenda:

PM ₁₀
PM _{2.5}

A.5 Localização dos Líquenes em Lisboa

Tabela A.5.1 – Localização geográfica dos 34 líquenes distribuídos nas ciclovias da cidade de Lisboa.

Código	Local	Coordenada geográfica	
		Latitude	Longitude
R1	Rua Cintura do Porto	38.74681366	- 9.09703307
R2	Av. Infante D. Henrique	38.73817376	- 9.10268189
R3	Av. Infante D. Henrique: Casa-Museu Convento do Beato	38.73497925	- 9.10379333
R4	Av. Infante D. Henrique	38.72160115	- 9.11433248
R5	Av. Infante D. Henrique	38.70875378	- 9.13021275
R6	Av. Brasília	38.70494455	- 9.15363908
R7	Doca Alcântara	38.70040256	-9.1754151
R8	Av. Brasília	38.6974663	- 9.18421827
C1	Av. Berlim	38.76763867	- 9.10507492
C2	Parque Vale do Silêncio	38.76873116	- 9.11655335
C3	Parque dos Olivais	38.76461003	- 9.11828932
C4	Rua Quinta da Graça	38.76081605	- 9.12615155
C5	Parque da Bela Vista	38.748851	-9.125425
C6	Av. Brasil	38.75662837	- 9.14643274
C7	Jardim do Campo Grande	38.754125	-9.150886
C8	Av. Duque D'Ávila	38.735077	-9.147645

Código	Local	Coordenada geográfica	
		Latitude	Longitude
C9	Praça de Espanha	38.737399	-9.156439
C10	Alvalade	38.75940202	- 9.15827243
C11	Alvalade: Av. Ventura Terra	38.75882669	- 9.16642056
C12	Telheiras: Rua Fernando Namora	38.76029629	- 9.17138315
C13	Av. Colégio Militar	38.75379143	- 9.18708514
C14	Av. Lusfada	38.755253	-9.192830
C15	Bairro Padre Cruz	38.769038	-9.189015
C16	Carnide	38.774235	-9.181398
M1	Benfica: Saída da passagem pedonal de acesso a Monsanto	38.743453	-9.189728
M2	Estrada da Serafina	38.727661	-9.174774
M3	Estrada da Pimenteira	38.724047	-9.181376
M4	Estrada do Alvito	38.723165	-9.186892
M5	Estrada de Montes Claros	38.718143	-9.198915
M6	Estrada do Outeiro	38.726032	-9.199440
M7	Avenida Tenente Martins	38.728635	-9.190739
M8	Estrada da Serafina	38.732286	-9.179986
M9	Rua Flor da Serra	38.737683	-9.179712
M10	Bairro da Serafina/Campolide	38.736616	-9.172133